

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektroniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektroniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Interakce infuzního setu a volumetrické infuzní pumpy a jejich vliv
na kvalitu léčby**

**Interaction Infusion Set and Volumetric Infusion Pumps and their
Impact on the Quality of Treatment**

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Vojtěch Hochman**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3901T009 Biomedicínské inženýrství

Téma: Interakce infuzního setu a volumetrické infuzní pumpy a jejich vliv na
kvalitu léčby
Interaction Infusion Set and Volumetric Infusion Pumps and their
Impact on the Quality of Treatment

Zásady pro vypracování:

1. Analýza volumetrické infuzní techniky lamelového typu a s ní souvisejícího spotřebního materiálu – setů.
2. Stanovení možného vlivu fyzikálních parametrů infuzního setu a jeho konstrukce.
3. Sestavení měřicího řetězce pro určení významných změn stanovených parametrů.
4. Provedení sady experimentálních měření s cílem určení vlivu volumetrické infuzní pumpy lamelového typu na fyzikální parametry infuzního setu z hlediska jejich časové stability a vlivu na neurčitost dávkování.
5. Vyhodnocení experimentálních dat.
6. Zhodnocení vlivu interakce volumetrické infuzní pumpy a infuzního setu na kvalitu léčby z hlediska přesnosti a bezpečnosti.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČIHÁK, Josef a Martin AUGUSTYNEK. *Infuzní technika a hemodialyzační technika a technologie*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. 340 s. ISBN 978-80-248-3100-8.
- [2] B.BRAUN MEDICAL. *Rizika infuzní léčby*. B/Braun Medical, s.r.o., c2013. Dostupné z: <http://www.bbraun.cz/cps/rde/xchg/cw-bbraun-cs-cz/hs.xsl/products.html?id=00020741900000000009>
- [3] PAVELKOVÁ, Alena. *Infuzní technika ve zdravotnictví (rešeršní práce)*. Ostrava, 2009. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra měřicí a řídicí techniky.
- [4] ROZMAN, Jiří. *Elektronické přístroje v lékařství*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2006, 406 s., xxiv s. barev. obr. příl. Česká matice technická (Academia). ISBN 80-200-1308-3.
- [5] MÍSAŘ, Petr. Bezpečnější infuzní terapie – infuzní sety s novým regulátorem průtoku. *Braunoviny*. 2010, č. 4, s. 7. ISSN 1801-0342.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Augustynek**

Konzultant diplomové práce: RNDr. Josef Čihák

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

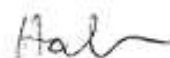
Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Bc. Vojtěch Hochman

Datum odevzdání diplomové práce: 7. 5. 2014



Poděkování

Tímto bych chtěl velmi poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Martinu Augustynkovi za cenné rady, konzultace a připomínky spojené s vypracováním mého zadání.

Také bych chtěl poděkovat mému konzultantu panu RNDr. Josefu Čihákovi, který mi poskytnul velmi užitečné rady, informace a který dohlížel nad správností postupu vypracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat paní Ing. Martině Litschmannové, Ph.D. za ochotu a pomoc při statistickém zpracování dat.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu a trpělivost po celou dobu tvorby diplomové práce.

Abstrakt

V dnešní době je používání volumetrických infuzních pump ve zdravotnických zařízeních zcela běžné. Vyskytuje se zde mnoho přístrojů od různých výrobců a velký počet typů těchto pump. Každému typu ovšem nevyhovuje stejný infuzní set, a proto je důležité dbát na to, aby byly používané infuzní sety kompatibilní s daným přístrojem. Tento aspekt hraje významnou roli v přesnosti dávkování infuze, což je jeden z nejdůležitějších parametrů infuzní terapie. Ale ani v případě, že se jedná o infuzní sety kompatibilní s přístrojem, které jsou doporučeny výrobcem, není zaručena správná přesnost dávkování. Ta může být ovlivněna nestejnými vlastnostmi materiálu, ze kterého je vyroben infuzní set, při jeho dlouhodobém mechanickém namáhání v čerpacím segmentu infuzní pumpy. Cílem této práce je objasnit, zda má interakce infuzního setu a infuzní volumetrické pumpy vliv na kvalitu léčby z hlediska přesnosti a bezpečnosti.

Klíčová slova

infuzní volumetrická pumpa, infuzní technika, infuzní set

Abstract

Nowadays the use of volumetric infusion pumps in medical facilities is absolutely common. There are many devices from different manufacturers and a large number of these types of pumps. However, each type does not meet the same infusion set and therefore it is important to ensure that the used infusion sets compatible with that device. This aspect plays an important role in the accuracy of dosing infusion which is one of the most important parameters for infusion therapy. But even if it is the infusion sets compatible with device which are recommended by the manufacturer there is not guarantee accurate dosing. This may be affected by unequal material properties of an infusion set made from with long-term mechanical loading of the pumping segment of the infusion pump. This thesis is focused on clarifying whether the interaction of the infusion set and infusion volumetric pump have an effect on the quality of treatment in terms of accuracy and safety.

Key words

volumetric infusion pump, infusion technology, infusion set

Seznam použitých zkratek a symbolů

DEHP	Dioctylftalát
DOP	Dioctylftalát
KVO	Keep Vein Open
PA	Polyamid
PE	Polyetylen
PVC	Polyvinylchlorid

Obsah

1. Úvod.....	2
2. Analýza volumetrické infuzní techniky lamelového typu a s ní souvisejícího spotřebního materiálu – setů	3
2.1. Gravitační infuze	4
2.2. Přetlakové infuze.....	5
2.2.1. Infuzní dávkovače	6
2.2.2. Infuzní pumpy	6
Volumetrická infuzní pumpa s rotačním peristaltickým čerpadlem	7
Volumetrická infuzní pumpa s lineárním (lamelovým) čerpadlem.....	9
Volumetrická infuzní pumpa s lineárním (lamelovým) čerpadlem sekvenčního typu....	11
2.3. Infuzní sety	12
2.3.1. Materiálové složení setů.....	13
2.3.2. Infuzní sety pro gravitační infuzi	13
2.3.3. Infuzní sety pro přetlakovou infuzi	13
3. Stanovení možného vlivu fyzikálních parametrů infuzního setu a jeho konstrukce	14
4. Sestavení měřicího řetězce pro určení významných změn stanovených parametrů.....	17
5. Provedení sady experimentálních měření s cílem určení vlivu volumetrické infuzní pumpy lamelového typu na fyzikální parametry infuzního setu z hlediska jejich časové stability a vlivu na neurčitost dávkování	21
5.1. Experimentální měření s infuzními sety Intrafix®	21
5.2. Experimentální měření s infuzními sety Infudrop®	26
5.3. Experimentální měření s infuzními sety Standardline®	29
6. Vyhodnocení experimentálních dat.....	34
6.1. Infuzní sety Intrafix® při nastaveném průtoku 50 ml/hod.....	34
6.2. Infuzní sety Intrafix® při nastaveném průtoku 300 ml/hod.....	36
6.3. Infuzní sety Infudrop® při nastaveném průtoku 50 ml/hod.....	38
6.4. Infuzní sety Infudrop® při nastaveném průtoku 300 ml/hod.....	40
6.5. Infuzní sety Standardline® při nastaveném průtoku 50 ml/hod.....	42
6.6. Infuzní sety Standardline® při nastaveném průtoku 300 ml/hod.....	44
6.7. Vyhodnocení změn infuzních setů pomocí makro snímků	47
7. Zhodnocení vlivu interakce volumetrické infuzní pumpy a infuzního setu na kvalitu léčby z hlediska přesnosti a bezpečnosti.....	50

8. Závěr	52
9. Seznam literatury	53

1. Úvod

Úlohou infuzní techniky je dávkování látek v tekutém stavu pomocí přetlaku do těla pacienta. Tyto látky jsou zejména tekutiny, výživa, krev a léčiva. V dnešní době je infuzní technika nedílnou součástí zdravotnických zařízení, vyskytuje se ve velkém počtu téměř na všech odděleních, a proto hraje problematika přesnosti dávkování významnou roli, která by neměla být přehlížena.

V dřívější době, před druhou polovinou 20. století, se k nitrožilnímu podání látek pacientovi používala pouze gravitační infuze založená na gravitaci a hydrostatickém tlaku kapaliny. Látky se do těla dostávaly samospádem z infuzního vaku, který byl umístěn převážně na stojanu nad úrovní pacienta, až do jeho těla. Tato gravitační infuze obsahovala pouze manuální omezovač průtoku (tlačku), byla bez jakékoliv elektronické součástky a alarmů. Chyby, které mohly nastat v době infuze, nebylo možno předem odhalit.

Doba pokročila a nynější přístroje obsahují velké množství elektroniky a jsou založeny na principech čerpadel, která napomáhají tekutině šířit se směrem do pacienta. S jejich pomocí se dá nastavit i požadovaná rychlost průtoku. Tyto přístroje jsou opatřeny displeji a elektronickými alarmy, které slouží k upozornění personálu na vznik možného problému při probíhající infuzi. Infuzní sety prošly také celou řadou zdokonalení a pořád se vyvíjejí další modernější materiály, které jsou kompatibilní s tělem pacienta a neuvolňují žádné škodliviny.

Ani nejdokonalejší elektronika a nejmodernější technologie na výrobu infuzní techniky a infuzních souprav (setů) však není bezchybná. Materiály infuzních setů podléhají po celou dobu infuzní terapie velkému mechanickému namáhání a stávají se opotřeбенými. Doba infuzní terapie se může individuálně u každého pacienta lišit a s ní se liší i degradace infuzního setu.

Úkolem této diplomové práce je zjistit, zda má interakce infuzního setu a volumetrické infuzní pumpy vliv na kvalitu dávkování v čase a na kvalitu léčby. Součástí této práce je teoretický rozbor týkající se problematiky infuzní techniky a s ní spojeného spotřebního materiálu. Dalším bodem práce je stanovení možného vlivu fyzikálních parametrů infuzního setu a jeho konstrukce, sestavení měřicího řetězce tak, aby bylo možné provést sadu experimentálních měření. Tato měření jsou prováděna s ohledem na určení vlivu volumetrické infuzní pumpy na fyzikální parametry infuzního setu z hlediska jejich časové stability a vlivu na neurčitost dávkování. Následujícím bodem bude vyhodnocení naměřených dat pomocí statistických metod a v poslední části diplomové práce bude zhodnocen vliv interakce infuzní pumpy a setu na kvalitu léčby z hlediska přesnosti a bezpečnosti.

2. Analýza volumetrické infuzní techniky lamelového typu a s ní souvisejícího spotřebního materiálu – setů

Infuzní technika je jeden z nejčtenějších zdravotnických terapeutických prostředků, se kterými se může pacient v nemocnici dostat do styku. Její využití je velmi široké a prochází celou škálou medicínských oborů, ať už jde o jednotky intenzivní péče, anesteziologicko-resuscitační oddělení, usnadňuje práci lékařům při operacích na operačních sálech, ale vyskytuje se i v běžné ambulantní péči. Úkolem infuzní techniky je zajistit přesný kontinuální přísun léčiv, tekutin, krve, chemoterapeutik, podpůrných prostředků, výživy a dalších látek pacientům.

V dnešní době si člověk bez infuzní techniky nedovede představit kvalitní léčbu, jak tomu bylo před druhou polovinou 20. století. V této době nikdo neznal infuzní dávkovače ani infuzní pumpy, původní metody nebyly složitě propracované jak je tomu dnes, ovšem jejich jednoduchost s sebou nesla rizika spojená s nespolehlivostí a nebezpečností, což mohlo mít neblahý vliv na stav pacientů. Pro podání léků či tekutin pacientům se používala gravitační infuze. Její princip spočíval ve vytvoření dostatečně velkého hydrostatického tlaku, který musel být vždy větší než tlak v krevním řečišti, a pomocí něj se vpravovaly infuzní roztoky do těla pacienta. I přestože gravitační infuze nedisponuje žádnou elektronikou, alarmy atp., její jednoduchost se prosadila a její využití je možné vidět i v dnešní době, ačkoliv infuzní technika ve většině případů převažuje. Poněkud větší nevýhodou gravitační infuze je nepřesnost dávkování, která je ovlivněna pouze regulací kolečkové tlačky, tudíž závisí pouze na zkušenosti obsluhy, jak dokáže regulaci korigovat. Druhou nevýhodou, která již byla částečně nastíněna, je ochuzenost gravitační infuze o elektroniku, tudíž i o alarmová hlášení vzduchových bublin, kapkového detektoru a mnoho dalších. Prvním průkopníkem, který se zabýval infuzní technikou, byla firma B Braun, která v roce 1951 vyvinula první lineární dávkovač na světě (Obr. 1 Obr. 1). Tento přístroj byl velmi jednoduchý, obsahoval pouze jedno tlačítko pro zapnutí a vypnutí přístroje. S nastavením rychlosti průtoku se nedalo nic dělat, bylo dané výrobcem a jednalo se o hodnotu 1 ml/min.



Obr. 1: První lineární dávkovač na světě (1951) [2]

Doba pokročila a s ní i technická vymoženost dnešních přístrojů (Obr. 2). Ty jsou vyráběny z nejmodernějších materiálů, kde je kladen důraz především na kvalitu a

biokompatibilitu. Jsou nabité elektronikou, která dodává mnohem větší přesnost než tomu bylo dříve, dále pak i bezpečnost, neboť přístroje jsou opatřeny mnoha bezpečnostními prvky (měření vzduchových bublin, měření tlaku, měření průtoku), které hlídají a eliminují možné komplikace. Dohlíží také na možnost selhání obsluhujícího personálu různými potvrzovacími aktivitami v softwaru. Díky tomuto technickému pokroku je jasné i to, že s sebou přinesl větší finanční zatížení nemocničních zařízení, neboť moderní materiály nejsou zrovna levnou záležitostí.



Obr. 2: Moderní infuzní pumpa (2013) [3]

V současné době existují dvě možnosti, jak podat pacientovi infuzi: první možností je podání gravitačně, druhá možnost je podání pomocí přetlaku vyvolaného mechanickým pohybem.

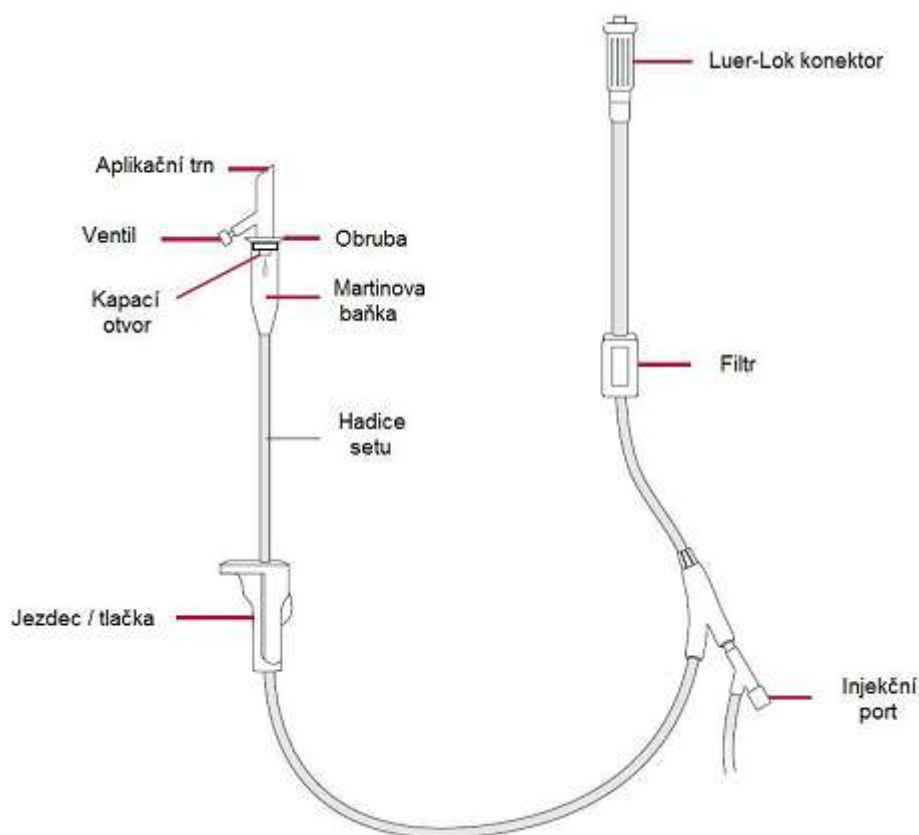
[1][7][13]

2.1. Gravitační infuze

Jedná se o často používaný způsob podávání infuzí (tekutin) pacientům v nemocnicích. Důvody, proč se stále používá klasická gravitační infuze, jsou různé, ale především jde o nenáročnost v udržování, jelikož jde o jednorázové prostředky, a také mnohem nižší pořizovací cena oproti elektronicky ovládané infuzní technice. Při tomto způsobu, jak již z názvu vyplývá, se využívá gravitace, lépe řečeno hydrostatického tlaku kapaliny v zásobníku umístěného na stojanu nad úroveň pacienta. Pomůcky potřebné k aplikaci infuze jsou (Obr. 3):

- *jehla (bodec)* - silná, krátká perforační jehla s jedním nebo více otvory
- *nádoba (vak či láhev)* s infuzním přípravkem
- *převodová souprava a spojovací hadička* - jsou vyrobeny ze syntetických materiálů a jsou určeny k jednomu použití
- *Martinova baňka* - průhledná válcovitá baňka s kapacím zařízením, slouží ke kontrole počtu kapek, zadržuje část roztoku a tím brání nasátí
- *ventil* - spojení jehly a Martinovy baňky, plní funkci odvzdušňovače
- *transportní hadička* - dlouhá tenká hadička spojující Martinovu baňku s konusem

- *jezdec (tlačka)* - je navlečen na transportní hadičku a slouží k regulaci množství přiváděného roztoku k pacientovi
- *konus* - kuželovité zakončení setu odpovídající rozměrem a tvarem všem pomůckám sloužícím k zavádění infuze (intravenózní jehla a všechny typy kanyl). U bezjehlových systémů se tento adaptér nazývá Luer-Lock
- *jednocestné sety* - obsahují pouze jeden hrot vycházející z Martinovy baňky. Slouží pro použití s jednou lahví či vakem. Hadička setu je zakončena konusem, který celý set spojuje s intravenózní kanylou
- *primární sety* - používány s ventilem nebo bez ventilu. Označovány také jako standardní sety
- *infuzní stojan*



Obr. 3: Schéma infuzního setu [4]

[5][6][7]

2.2. Přetlakové infuze

V tomto případě se infuzní medium do těl pacientů dostává přetlakem vzniklým díky mechanické energii generované čerpadly. Tato infuzní technika (infuzní dávkovače a infuzní pumpy) je nedílnou součástí skoro všech nemocničních oddělení. Slouží k zajištění základních životních funkcí lidského organismu, používá se při operačních zákrocích, pooperační péči, v

oblastech kardiologie, neonatální medicíny, sportovní medicíny a ve spoustě dalších sférách zdravotnictví. Usnadňuje a umožňuje pacientům podávat léčiva, anestetika, výživu, chemoterapeutika, hydratační tekutiny, krev a další. Díky ní se stává podávání těchto médií bezpečnější, přesnější a efektivnější. I přestože infuzní pumpy i dávkovače slouží k dávkování různých látek do těl pacientů, liší se od sebe v několika bodech. Jeden z bodů, ve kterých se mohou lišit, je například ten, zda přístroje slouží k podání malých a přesných objemů nebo zda slouží k podání velkých objemů infuzního media.

2.2.1. Infuzní dávkovače

Infuzní dávkovače, nebo také lineární dávkovače, jsou zařízení, která vpravují do pacientů přesné, ale malé objemy (Obr. 4). Ty jsou dákovány pomocí pohyblivého pístu a injekční stříkačky, která je uložena v samotném lineárním dávkovači. Pohyb pístu je způsoben pomocí pohybového šroubu nebo pomocí ozubeného hřebene a pastorku. Tím dochází ke stlačení injekční stříkačky a následnému vystříknutí tekutiny do těla pacienta spojeného s lineárním dávkovačem přes spojovací hadičky (infuzní sety).

Podle normy ČSN EN 60601-2-24: Zdravotnické elektrické přístroje - Část 2: Zvláštní požadavky na bezpečnost infuzních pump a regulátorů se infuzní dávkovače definují takto:

„Přístroj určený pro řízenou infuzi kapalin do pacienta pomocí jedné nebo více stříkaček pro jedno použití nebo podobných kontejnerů (například zásobníků vyprazdňovaných zatlačováním jejich pístu) a u kterého je rychlost dávkování nastavena obsluhou a indikována přístrojem jako objem za jednotku času.“ [21]



Obr. 4: Lineární (infuzní) dávkovač [8]

[9][12]

2.2.2. Infuzní pumpy

Infuzní pumpy jsou někdy jinak nazývány také infuzní peristaltické pumpy nebo volumetrické pumpy. Na rozdíl od lineárních dávkovačů dokážou infuzní pumpy do pacientů vpravovat mnohem větší objemy roztoků. Látky jsou dákovány kontinuálně v předem

nastaveném objemu a čase. Jsou to moderní elektronické přístroje vyrobené z nejlepších materiálů, obsahují velmi spolehlivý kalibrační systém a jsou vybavené ochrannými mechanismy (alarmy), které dokážou zareagovat na nebezpečí (možný únik látky nebo nedostatek roztoku v zásobníku) a včas upozornit obsluhující zdravotnický personál. Oproti klasické gravitační infuzi tzv. „kapačce“ mají pumpy výhodu v tom, že disponují možností nastavení přesně definovatelného objemu dávkovaného media v čase.

Podle ČSN EN 60601-2-24 jsou definovány tyto druhy pump:

Infuzní pumpa - přístroj určený k regulaci průtoků kapalin do pacienta při přetlaku vyvozeném čerpadlem

Volumetrická infuzní pumpa - infuzní pumpa, u které je rychlost dávkování nastavena obsluhou a indikována přístrojem jako objem za jednotku času a která není stříkačkovou pumpou

Princip volumetrické infuzní pumpy je takový, že hadička infuzního setu je vložena přímo do těla pumpy a je následně periodicky stlačována. Tím nedochází k žádnému styku infuzního media s přístrojem, což zajišťuje hygienické požadavky. Stlačování hadičky je způsobeno peristaltickým čerpadlem. Název tohoto čerpadla je odvozen od pohybu některých orgánů, jako je například jícnů či tenké a tlusté střevo. Tyto orgány posouvají potravu pomocí peristaltické vlny, což je koordinované stahování svaloviny. Existují tyto typy volumetrických pump, které se dělí podle typu čerpadla:

- s rotačním peristaltickým čerpadlem
- s lamelovým (lineárním) čerpadlem
- s lamelovým (lineárním) čerpadlem sekvenčního typu

Volumetrická infuzní pumpa s rotačním peristaltickým čerpadlem

Na obrázcích (Obr. 5, Obr. 6, Obr. 7) je zobrazeno rotační čerpadlo, jehož nejdůležitější částí je poddajná pružná hadička (nejčastěji silikonová) a okluzní válce, které sevrou hadičku proti stěně čerpadla. V tomto momentu je hadička zcela uzavřena a tekutina se posouvá ve směru otáčení okluzních válečků. Za válečkem se hadička samovolně vrátí do původního tvaru. Tímto rotujícím pohybem vzniká podtlak, který nasává opět do prostoru čerpadla další tekutinu. Tento proces se neustále opakuje, tudíž zajišťuje kontinuální přenos infuzního media do pacienta. Volumetrická pumpa s rotačním peristaltickým čerpadlem se většinou používá pro větší průtoky tekutin, například v dialyzační nebo transfuzní technice. Možnost změny velikosti průtoku pumpy je velmi široká, pohybuje se v rozmezí několika mililitrů až litrů za hodinu. Velikost průtoků se vypočítává ze známého objemu pumpového segmentu, v případě nezaškrceného průměru hadičky, a z počtu otáček rotačního čerpadla.

$$Q = V \cdot n = D \cdot \pi \cdot S \cdot n \quad (2.1)$$

- kde Q [ml/min] je průtok, V [ml] objem tekutiny a n je počet otáček čerpadla.

$$V = D \cdot \pi \cdot S \quad (2.2)$$

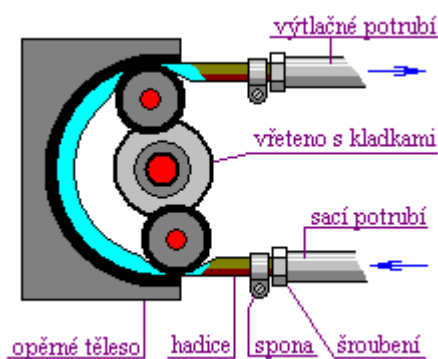
- kde D [mm] je průměr středové osy čerpadla (tj. rozpětí mezi dvěma okluzními válečky) a s je účinný průměr infuzního setu (hadičky).

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (2.3)$$

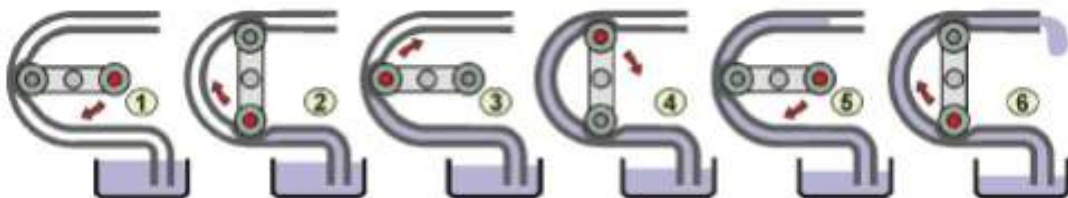
- kde S [mm²] je vnitřní průřez infuzní hadičky a d [mm] je vnitřní průměr infuzní hadičky.



Obr. 5: Rotační peristaltické čerpadlo [10]



Obr. 6: Rotační peristaltické čerpadlo [11]



Obr. 7: Princip nasávání peristaltické pumpy [12]

Výhodou těchto typů čerpadel je, že mají schopnost samonasávání, jak již bylo uvedeno výše, kdy se při pohybu okluzního válce výtlakovým směrem za ním nasává opět kapalina. Dále

nepotřebuje ke své funkci výtlačný ventil, neboť při zastavení čerpadla se kapalina nevrací zpět. Důležitou výhodou je bezesporu tichý chod a snadná proveditelnost.

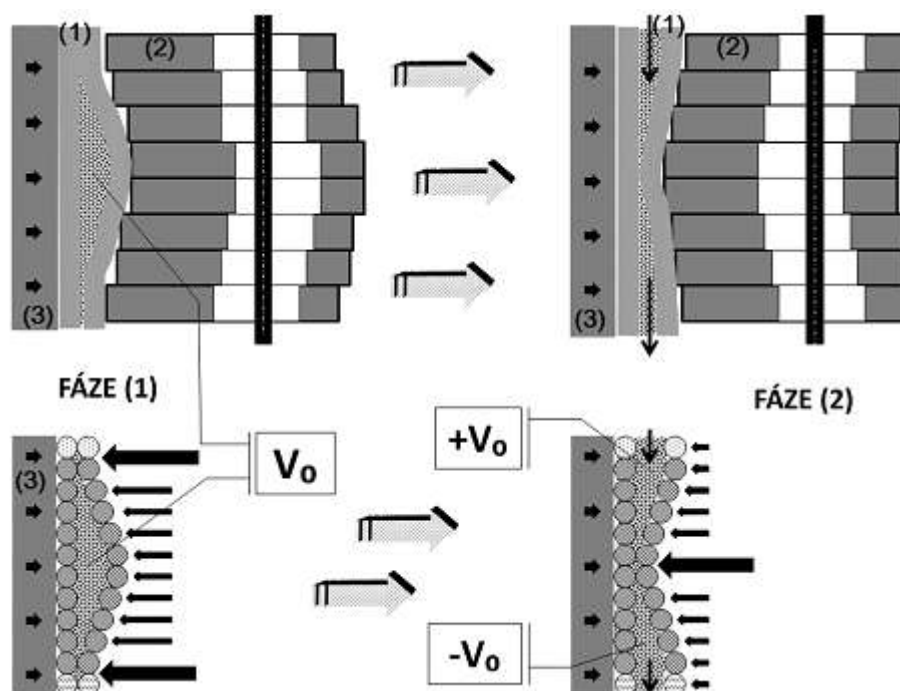
Na straně druhé jsou tu však nevýhody, se kterými je nutno počítat. Hlavní nevýhodou je omezená životnost hadičky infuzního setu. Její deformací v místech sevření okluzními válci může dojít k nechtěnému natáhnutí, v horším případě protrhnutí hadičky. Ztráta pružnosti a pevnosti hadičky poté snižuje výkon a zapříčiňuje dodávku jiného množství látky, než jaká byla předem navolena obsluhou přístroje.

Kromě použití pro lékařské účely je tento typ čerpadel hojně používán v chemických laboratořích a v průmyslu. V těchto oborech se nepoužívá název infuzní pumpa s rotačním peristaltickým čerpadlem, ale vžil se název „hadicové čerpadlo“.

[7][9][12]

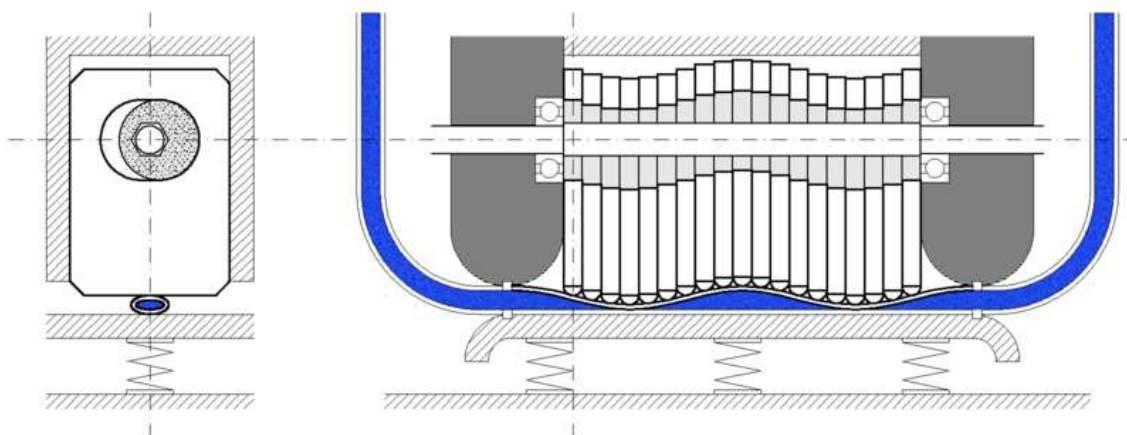
Volumetrická infuzní pumpa s lineárním (lamelovým) čerpadlem

V současnosti se jedná o nejpoužívanější typ pumpy. Pumpy s peristaltickým čerpadlem se v oboru technicko-medicínském uplatňují zcela výjimečně. „Lamelové pumpy jsou v podstatě linearizací peristaltické pumpy.“ [7] Princip pumpy (Obr. 8) je takový, že elektromotor otáčí vačkovou hřídelí, ke které je uloženo pole s lamelami. Jejich počet je mezi 12 - 17, záleží na druhu výrobce. Toto lamelové pole se otáčí, tím převádí svůj rotační pohyb na lineární, který zajišťuje posouvání media v hadičce. Mezi sevřenými částmi hadičky se vytvoří určitý objem tekutiny, který je dán konstrukčními parametry lamelového pole, resp. tloušťky jednotlivých lamel a počet jednotlivých lamel v čerpacím segmentu. Objem tekutiny samozřejmě závisí na velikosti (průměru) infuzního setu a taky na jeho mechanických vlastnostech. Je nezbytně nutné, aby obsluha vložila do pumpy správný typ infuzního setu. V případě vložení chybného setu dojde k nepřesnosti v dávkování a to může mít velmi špatné následky pro pacienta. Volumetrické infuzní pumpy s lamelovým čerpadlem se používají pro menší průtoky než pumpy s rotačním čerpadlem. Jedná se o hodnoty průtoku okolo 0,1 - 1500 ml/hod. Rychlost průtoku je ovládána počtem otočení hřídele a typem setu.



Obr. 8: Funkční princip lamelové infuzní pumpy: (1) Hadička infuzního setu (2) Lamelové pole, (3) Dvířka pumpy pro vložení setu [7]

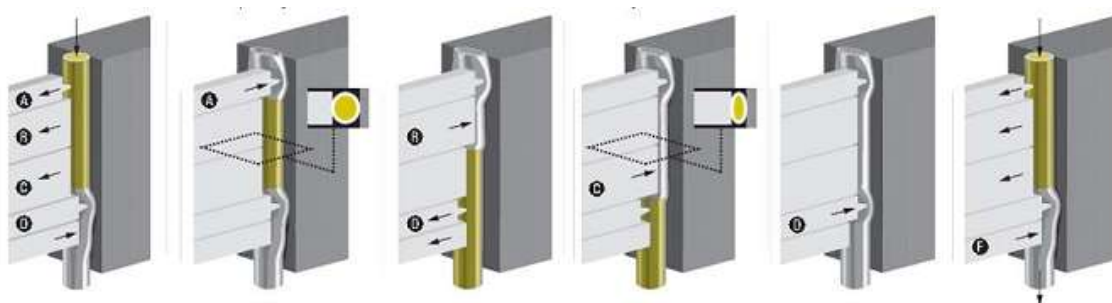
Na obrázku (Obr. 9) je zobrazen řez lamelovou pumpou, modrou barvou je znázorněna kapalina vedená v hadičce infuzního setu. Je patrné, že infuzní set je založen mezi lamelové pole a tělo pumpy, které tvoří pevnou oporu proti pohybujícím se lamelám. Díky rotaci hřídele se hadička neustále stlačuje a navrácí do původního stavu, tím dochází ke kontinuálnímu průtoku kapaliny uvnitř infuzního setu. Rychlost průtoku se dá regulovat pomocí otáček lamelového pole, vlastnosti infuzního setu jsou zde pouze konstantou, neboť do většiny lamelových infuzních pump je zapotřebí založit pouze set určený k danému typu výrobku. Proto je nutné dbát na to, aby nedošlo k záměně setů, protože by byl negativně ovlivněn výsledný průtok oproti zadanému. Nevýhoda spočívá v opakovaném namáhání silikonové hadičky, kde dochází k její deformaci a ta může po čase vyvolat změnu jejich mechanických vlastností. Výsledkem může být tak jako u peristaltické pumpy snížení výkonu a chybné množství podané látky pacientovi. Tyto změny bývají nepostřehnutelné obsluhou a mohou nepříznivě ovlivnit kvalitu léčby. Podávání léků totiž probíhá nepřetržitě i několik dnů a za tuto dobu se vlastnosti setu mohou změnit velmi zásadním způsobem, který by pro pacienta mohl mít fatální následky. Proto je nutné preventivně vyměňovat infuzní sety kvůli bezpečnosti pacienta i možnému vzniku mikrobiologického nebezpečí.



Obr. 9: Řez lamelovou (lineární) pumpou [14]

Volumetrická infuzní pumpa s lineárním (lamelovým) čerpadlem sekvenčního typu

Tento typ pump je v podstatě stejný jako předchozí, mechanismus transformace rotačního pohybu na lineární zůstává stejný, ale pohyb lamel se mění ze sinusového na sekvenční. Tento systém je patentem japonské firmy Terumo pod názvem mid-press system.



Obr. 10: Princip funkce lamelové pumpy sekvenčního typu [15]

Pro funkci čerpadla stačí pouze čtyři lamely, jak je vidět na obrázku (Obr. 10). Dvě krajní (užší) lamely slouží k úplnému zaškrcení hadičky a zbylé dvě (širší) lamely obstarávají funkci výtlačkovou. Výhodou tohoto rozložení lamel je přesnější odměření objemu kapaliny ($\pm 3\%$ oproti ostatním výrobcům $\pm 5\%$) mezi zaškrcenou hadičkou, což znamená i větší přesnost celkové kvality léčby. Výhodou tohoto mid-press systému je i z jeho názvu vyplývající střední stlačení. To znamená, že při vytlačování kapaliny lamely nestlačí hadičku na sto procent, ale pouze částečně. Tímto nedochází k tak velké degradaci materiálu infuzního setu a prodlužuje se i životnost setu, což vede k delšímu a přesnějšímu dávkování infuzního media. I u tohoto typu infuzní pumpy platí, že objem je určen průměrem hadičky infuzního setu, velikostí jednotlivých lamel a rychlostí, jakou se lamely pohybují. Také je nutné vkládat správný typ infuzního setu, aby nedošlo k nepřesnostem v podaném množství léků a hlavně zhoršení zdravotního stavu pacientů. Systém mid-press využívá například infuzní pumpa Terefusion TE-171 (Obr. 11) [9][7][12][13][19][21]



Obr. 11: Infuzní pumpa TEREFUSION TE-171 [17]

2.3. Infuzní sety

Infuzní sety hrají významnou roli ve funkčnosti terapie, zajišťují bezpečnost a také zvyšují kvalitu poskytované terapie. V mnoha případech je kladen důraz na špičkové provedení infuzní techniky, ale na preciznost provedení infuzních setů se tolik nedbá. Je to ovšem nezbytná nutnost, neboť právě infuzní sety jsou ve styku s podávanými látkami do těla pacientů. Proto je nutné dohlížet na jejich správné provedení a používání. V zásadě by měl každý výrobce infuzní techniky garantovat k danému typu přístroje i dané infuzní sety, které jsou kompatibilní z hlediska funkčnosti a bezpečnosti. Moderní přístroje jsou dokonce řešeny tak, že použití jiného než výrobcem stanoveného infuzního setu přístroj rozpozná, zahlásí chybové hlášení a infuzi vůbec nelze provést. Tyto přístroje vyžadují infuzní sety pouze svých výrobců a nelze je oklamat. Občas se ale stává, že u staršího přístroje není možnost rozpoznání typů setů a není ani uveden přesný typ infuzního setu, a poté je na uvážení provozovatele a pracovníka, jaký použije infuzní set. Zde hraje významnou roli ekonomická část věci, neboť na trhu se vyskytuje spousta dodavatelů a jejich ceny se mohou výrazně lišit. Existuje celá řada setů lišících se množstvím různých spojek, rozdělovačů, koncovek atd. V podstatě se infuzní sety dají rozdělit podle použití na dvě skupiny:

- infuzní sety pro gravitační infuzi
- infuzní sety pro přetlakovou infuzi

2.3.1. Materiálové složení setů

Jednotlivé části jsou vyrobeny z odlišných materiálů, vše ale musí tvořit jeden ucelený biokompatibilní prvek. Jedná se především o PVC (polyvinylchlorid), ze kterého se vyrábí hadičky, a silikon tvořící čerpací segmenty setů pro přetlakovou infuzi. Dalším polymerem používaným ve výrobě je PE (polyetylen), jenž se používá na výrobu hadiček a kapkových komůrek, a také PA (polyamid). Největší problém tvoří výroba samotné hadičky, neboť spolu s PVC se používá jako změkčovaadlo Bis(2-etylhexyl)ftalát známý jako DEHP (Diethylphthalate). Míra těchto změkčovadel proto musí podléhat přísným normám, aby se zamezilo jakéhokoliv toxického ohrožení. V dnešní době již existují technologie a materiály, které se používají k bezftalátové výrobě, tudíž minimalizují kontakt ftalátů s tělem pacientů. Riziko kontaminace nelze zcela úplně potlačit, naopak je třeba s ním počítat a případné problémy umět co nejefektivněji řešit.

2.3.2. Infuzní sety pro gravitační infuzi

Jedná se o sety na jedno použití, to znamená, že po každé nové infuzi se musí použít nový sterilní gravitační infuzní set. Popis tohoto typu setu je popsán výše (kapitola 2.1), kde jsou v textu vysvětleny a popsány jednotlivé části na obrázku (Obr.3). Aby se odlišily sety pro gravitační a přetlakovou infuzi, byla určena jednotná barva kolečkové tlačky. Gravitační sety jsou opatřeny bílou tlačkou. Tato barva je potvrzena i normou. V žádném případě nesmí dojít k záměně gravitačního setu za přetlakový, neboť by došlo ke zcela jiné přesnosti dávkování, která by mohla nepříznivě ovlivnit pacientovo zdraví. Přesnost by byla ovlivněna zejména jinou tvrdostí hadičky, v praxi většinou mnohem tvrdší než hadičky setu pro přetlakovou infuzi.

2.3.3. Infuzní sety pro přetlakovou infuzi

Jde o sety používané především ve spojení s infuzní pumpou nebo lineárním dávkovačem. Ve větší míře se jedná o podobné sety jako gravitační, liší se pouze v několika částech. Hlavním rozpoznávacím znakem setů pro přetlakovou infuzi je barva kolečkové tlačky. Jak již bylo uvedeno, barva gravitační tlačky je bílá, přetlakový set má oranžovou barvu kolečkové tlačky. Z důvodu přesnosti dávkování musí být kladen větší důraz na mechanické vlastnosti hadičky, zejména její tvrdost, dále pak na velikosti vnitřního a vnějšího průměru, který by se měl lišit pouze s tolerancí garantovanou výrobcem. Další část, která je odlišná od gravitačního setu, je silikonový čerpací segment, který se vkládá do infuzní pumpy, kde je peristalticky stlačován. Tento silikonový segment však neobsahují všechny infuzní sety určené pro přetlakovou infuzi. [7][9][18]

3. Stanovení možného vlivu fyzikálních parametrů infuzního setu a jeho konstrukce

Z finančního hlediska jsou infuzní sety mnohonásobně levnější než samotné přístroje, ovšem není možné přehlížet jejich důležitost. Mnohý zdravotnický personál opomíjí jejich významnou roli v infuzní terapii a svou nepozorností může způsobit problém pacientovi. Touto nedbalostí může být například založení nekompatibilního setu do infuzní pumpy. Ve zdravotnických zařízeních se vyskytuje infuzní technika mnoha typů a značek, to samé platí pro infuzní sety. Těch bývá v mnoha případech několik druhů, které je možno použít s jednou pumpou, a proto je nutné předcházet těmto záměnám, které mohou způsobit nepřesnost v dávkování.

Co se týče přesnosti dávkování, není vždy chyba jen v selhání lidského faktoru. Samotné infuzní sety hrají významnou roli v přesnosti dávkování. Svou konstrukcí a materiálovým složením mohou ovlivnit odlišnosti v dávkování. Převážně materiál, ze kterého jsou infuzní sety vyrobeny, bývá často zdrojem těchto problémů. Jak již bylo zmíněno, nejčastěji se pro výrobu infuzních setů používá PVC, silikon nebo PE. U těchto polymerů může docházet vlivem namáhání ke změnám v jejich krystalografické mřížce, to znamená, že se původně na pohled tvrdá plastová hadička může po určitém čase a namáhání stát měkčí. Doba, po kterou běží infuzní terapie s jedním infuzním setem v přístroji, se individuálně liší, v krajních případech může dosahovat až 48 hodin. Vlivem mechanické degradace průtokového dílu infuzního setu (Obr. 12) dochází ke změně jeho vlastností, které mohou po čase vést k odlišným hodnotám dodaného objemu infuzního roztoku, než tomu bylo na začátku terapie. To může v případě podávání léků způsobit vážný problém pro pacienta.

Všechny používané infuzní sety ve zdravotnických zařízeních musí splňovat legislativní nařízení, tedy musí podléhat normám, které byly pro tento účel schváleny. Materiál infuzních setů a jejich součástí musí splňovat specifikace fyzikálních požadavků české technické normy ČSN EN ISO 8536. U infuzních setů jde zejména o tyto parametry:

- **Fyzikální parametry**
 - pevnost infuzní hadičky, těsnost infuzního setu, vnitřní kuželová spojka, injekční díl, filtr na tekutinu, odkapávací komora a kapací hadička, hadičky, atd.
- **Chemické parametry**
 - redukční vlastnosti infuzního setu, testování obsahu kovů v plastu, testování pH plastu a jiné
- **Biologické parametry**
 - testování na sterilitu, pyrogenitu a hemolýzu
- **Materiály**
 - materiály, ze kterých je infuzní set vyroben, musí splňovat všechny výše uvedené parametry
- **Značení infuzních setů**
 - popis infuzního setu, označení sterilního bezpyrogenního setu, datum spotřeby, návod k použití a jiné

- označení setu písmenem P (pressure), jedná-li se o set určený k použití s tlakovým infuzním zařízením

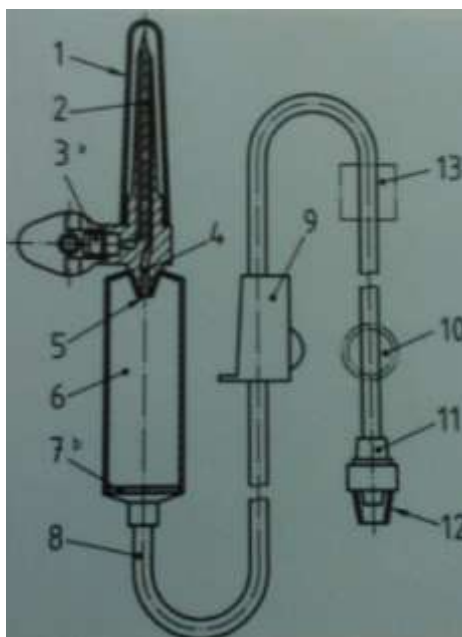
V případě nedodržení jednotlivých parametrů (nedodržení sterility, pyrogenity, hemolýzy) může dojít poškození stavu pacienta, zhoršení stavu infuzní pumpy (vyšší tvrdost hadičky) nebo k samotnému zhoršení funkce infuzního setu. U jednotlivých infuzních setů totiž není žádným způsobem specifikována jejich časová stálost dávkování, které se může podle mechanického namáhání měnit. Platí pouze to, že jsou určeny k jednorázovému použití. Zde ovšem závisí pouze na obsluze, zda infuzní set během terapie bude obměňovat a jak často.

Z hlediska ovlivnění objemu dávkovaného média na čas se největší problém nachází v průtokovém dílu infuzního setu, který je založen do těla infuzní pumpy. V této části dochází k největším mechanickým změnám setu a jedná se prakticky o jedinou část, kde může docházet k nepřesnostem v dávkování, neboť ostatní části setu jsou naprosto bez vlivu okolního prostředí, uvažujeme-li stálou teplotu v místnosti.

Další parametr, který může mít vliv na nepřesnosti v dávkování, je průtok nastavený obsluhou pumpy. Tato závislost však doposud nebyla úplně objasněna a je předmětem této práce.

Součástí této diplomové práce jsou experimentální měření, která mají za úkol určit vliv volumetrické infuzní pumpy na fyzikální parametry infuzního setu z hlediska jejich časové stability a vlivu na neurčitost dávkování. Pro tuto práci byly vybrány infuzní sety od tří různých výrobců, které mají být kompatibilní s infuzní pumpou Argus podle firemní uživatelské příručky.

Prvním setem je Intrafix® Primeline od německého výrobce B Braun. Jedná se o standardní infuzní set určený k přetlakové infuzi. Jeho délka je 150 cm. Druhým infuzním setem je Infudrop® (175 cm) rovněž německé společnosti Fresenius Kabi. Posledním setem, který je součástí testování v této diplomové práci, je infúzní souprava Standardline® (185 cm) českého výrobce Gama®. Všechny tyto zmíněné sety podléhají normě CSE EN ISO 8536 a jejich konstrukce je obdobná jako je tomu na obrázku (Obr. 12).



Obr. 12: Infuzní set s přívodem vzduchu [20]

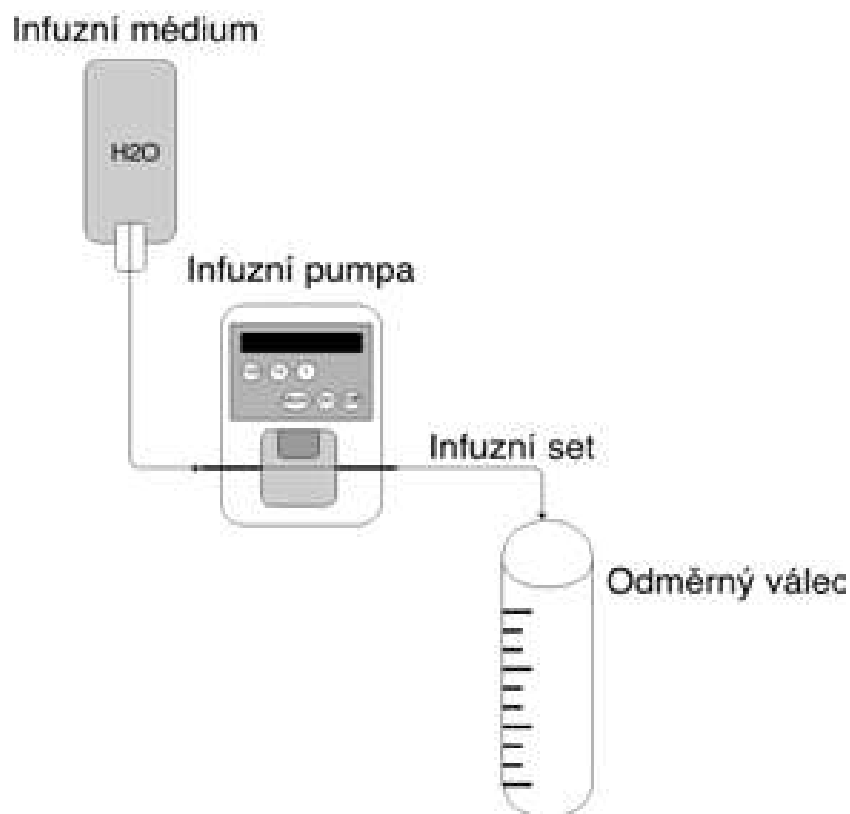
Popis infuzního setu:

1. Ochranný kryt uzavíratelného propichovacího prostředku
2. Uzavíratelný propichovací bodec
3. Přívod vzduchu opatřený vzduchovým filtrem a uzávěrem
4. Kanálek pro tekutinu
5. Kapací trubice
6. Kapací komora - "Martinova baňka"
7. Filtr pro tekutinu (všeobecně používaný filtr se jmenovitou velikostí pórů $15\mu\text{m}$)
8. Hadička infuzního setu
9. Regulátor průtoku tzv. "tlačka"
10. Injekční díl
11. Vnitřní kuželová spojka
12. Ochranný kryt vnitřní kuželové spojky
13. Průtokový díl infuzního setu - tvoří rozhraní tlakového infuzního přístroje (pumpy)

4. Sestavení měřicího řetězce pro určení významných změn stanovených parametrů

Ve zdravotnických zařízeních obvykle měřicí řetězec obsahuje infuzní láhev nebo vak obsahující infuzní medium, které chceme transportovat do těla pacienta. Velikost těchto nádob se může lišit od malých (200 ml) až po velké (2000 ml), které převážně obsahují fyziologický roztok nebo výživu. Tyto nádoby jsou společně s infuzní technikou připevněny na infuzním stojanu, který umožňuje umístění všech potřebných součástí na svou konstrukci k provedení infuzní terapie. Zároveň umožňuje pacientů připojeným na infuzi pohyb a ošetřujícímu personálu dobrou manipulaci, neboť je opatřen kolečky. Hlavní částí celého měřicího řetězce je infuzní technika. Je důležité, aby byly přístroje řádně kalibrovány a prošly úspěšně bezpečnostně technickou kontrolou, která potvrdí jejich správnou funkci. Infuzní pumpa poté pomocí svého čerpadla napomáhá k pohybu infuzního média uvnitř infuzního setu, jež je vložen do čerpacího segmentu infuzní pumpy. Infuzní set je tedy propojení mezi infuzní nádobou a pacientem a zprostředkovává transport tekutin. Jak již bylo zmíněno, je nutné dbát na to, aby byl infuzní set schválen výrobcem infuzních pump k použití pro infuzní přetlakovou terapii. Toto je velmi významné připomenutí, neboť při nedodržení by mohlo dojít k nesprávnému množství dodaného objemu infuzního média než jaké je nastaveno obsluhou. Celý měřicí řetězec je ukončen intravenózním vstupem do těla pacienta pomocí jehly, který je před vpichem ošetřen dezinfekcí proti možné kontaminaci patogenními organismy způsobující například infekční onemocnění.

Pro tuto diplomovou práci byl měřicí řetězec upraven tak, aby bylo možné sledovat množství infuzního média, které je transportováno do těla pacienta po nastavení potřebných hodnot do infuzní pumpy. Zjednodušený náčrt celého řetězce je zobrazen na obrázku (Obr. 13). Začátek infuzního řetězce je totožný s tím, jaký se používá ve zdravotnických zařízeních. Jde tedy o nádobu naplněnou v tomto případě pouze vodou, což plně postačuje k naměření experimentálních dat. Rozdíl mezi měřicími řetězci představuje jeho ukončení, které není provedeno intravenózně do těla pacienta, ale je vyvedeno pouze do odměrného válce, kterým je měřen výsledný dodaný objem média. Tento měřicí řetězec obsahuje volumetrickou infuzní pumpu s lineárním (lamelovým) čerpadlem, na které jsou testovány infuzní sety od tří různých výrobců, které jsou doporučeny výrobcem. Celý měřicí řetězec je umístěn v prostředí, které umožňuje opakované měření za stále stejných podmínek (teplota, vlhkost, tlak). Měřicí řetězec tedy splňuje všechny požadavky, které jsou nutné k naměření experimentálních dat.



Obr. 13: Měřící řetězec pro umožnění sady experimentálních měření

Infuzní sety, které jsou použity pro veškerá měření v této diplomové práci, jsou podle norem označeny velkým písmenem P, což znamená, že jsou určeny k použití pro přetlakovou infuzi. Všechny tři typy jsou standardními infuzními sety, které jsou schváleny k užívání společně s volumetrickou infuzní pumpou Argus 400 podle uživatelské příručky. Jedná se o infuzní sety Intrafix® Primeline od výrobce B Braun, Infudrop® od firmy Fresenius Kabi a Standardline®, které vyrábí firma Gama®.

V této diplomové práci bude použita lamelová pumpa Argus 400 Profesional.

ARGUS 400 Profesional

Jedná se o volumetrickou infuzní pumpu švýcarské firmy CODAN Argus AG. V tabulce (Tab. 1) jsou uvedeny její parametry. Vlastnosti a funkčnost infuzní pumpy byly ověřeny řádnou bezpečnostně technickou kontrolou. Na obrázku (Obr. 14) je zobrazena tato pumpa, obrázek (Obr. 15) ukazuje infuzní mechanickou část (čerpadlo), které je tvořeno čtrnácti lamelami.



Obr. 14: Volumetrická infuzní pumpa Argus 400



Obr. 15: Čerpací část infuzní volumetrické pumpa Argus 400

Tab. 1: Parametry infuzní pumpy Argus 400 Profesional

PARAMETRY INFUZNÍ PUMPY	ROZSAH PARAMETRŮ
Typ čerpadla	lineární peristaltické
Rozsah průtoku	0 - 999 ml/h
Maximální průtok	999 ml/h
Přesnost dávkování	±5%
Typ infuzního setu	standardní PVC
KVO	< 3 ml
Max. nastavitelný objem	9999 ml
Alarmy	Kapkový detektor, vzduchové bubliny, vybití baterie
Napájení	AC 220V/50Hz
Spotřeba energie	9 W
Hmotnost	3.5 kg
Rozměry (Š x V x H)	145 x 225 x 220 mm

5. Provedení sady experimentálních měření s cílem určení vlivu volumetrické infuzní pumpy lamelového typu na fyzikální parametry infuzního setu z hlediska jejich časové stability a vlivu na neurčitost dávkování

Po sestavení měřicího řetězce bylo možno zahájit vlastní experimentální měření. Ta měla za cíl určit vliv volumetrické infuzní pumpy lamelového typu na fyzikální parametry infuzního setu z hlediska jejich časové stability a vlivu na neurčitost dávkování. Měření probíhala na jedné volumetrické infuzní pumpě, konkrétně na přístroji Argus 400, a to se třemi různými druhy infuzních setů, které jsou podle manuálu k infuzní pumpě kompatibilní s tímto zařízením. Jednalo se o standardní infuzní sety určené k přetlakové infuzi: set Intrafix® firmy B Braun, Infudrop® firmy Fresenius Kabi a set Standardline® firmy Gama®. Po domluvě s vedoucím a konzultantem této práce bylo rozhodnuto, že s každým typem infuzních setů bude provedeno 5 testů s nastaveným průtokem 50 ml/hod a 5 testů s nastaveným průtokem 300 ml/hod. Tento počet testů je dostačující pro závěrečné hodnocení, zda má volumetrická infuzní pumpa vliv na časovou stabilitu a neurčitost dávkování infuzních setů.

Každé měření tedy probíhalo za stálých podmínek po dobu 14 hodin. Doba trvání jednoho experimentálního měření byla takto určena rovněž po domluvě s vedoucím a konzultantem této práce. Jelikož v nemocničních zařízeních se doba použití jednoho infuzního setu při infuzi liší individuálně od několika desítek minut až po 24 hodin, bylo rozhodnuto pro tuto dobu měření. Sběr dat probíhal každou hodinu odečtením množství vody, jaké bylo dodáno infuzní pumpou do odměrného válce.

Celkem bylo provedeno 15 experimentálních měření při nastaveném průtoku 50 ml za hodinu a 15 měření s nastaveným průtokem 300 ml za hodinu. Výsledky těchto měření jsou uvedeny níže v grafech a tabulkách.

5.1. Experimentální měření s infuzními sety Intrafix®

V tabulce (Tab. 2) jsou uvedena data, která byla pořízena v průběhu pěti 14hodinových měření při nastaveném průtoku 50 ml za hodinu pomocí infuzní pumpy. V ideálním případě by tedy měly všechny naměřené vzorky odpovídat hodnotě 50 ml. Ovšem jak je patrné z tabulky (Tab. 2), ani v jednom měření nedošlo k naprosto správnému dávkování, kdy by po celou dobu měly vzorky odpovídat 50 ml. Původ jednotlivých odchylek je pravděpodobně přičítán nestálosti tvrdosti nebo složení materiálů, ze kterých jsou infuzní sety vyrobeny.

Tab. 2: Měření s infuzními sety Intrafix® při nastaveném konstantním průtoku 50 ml/hod

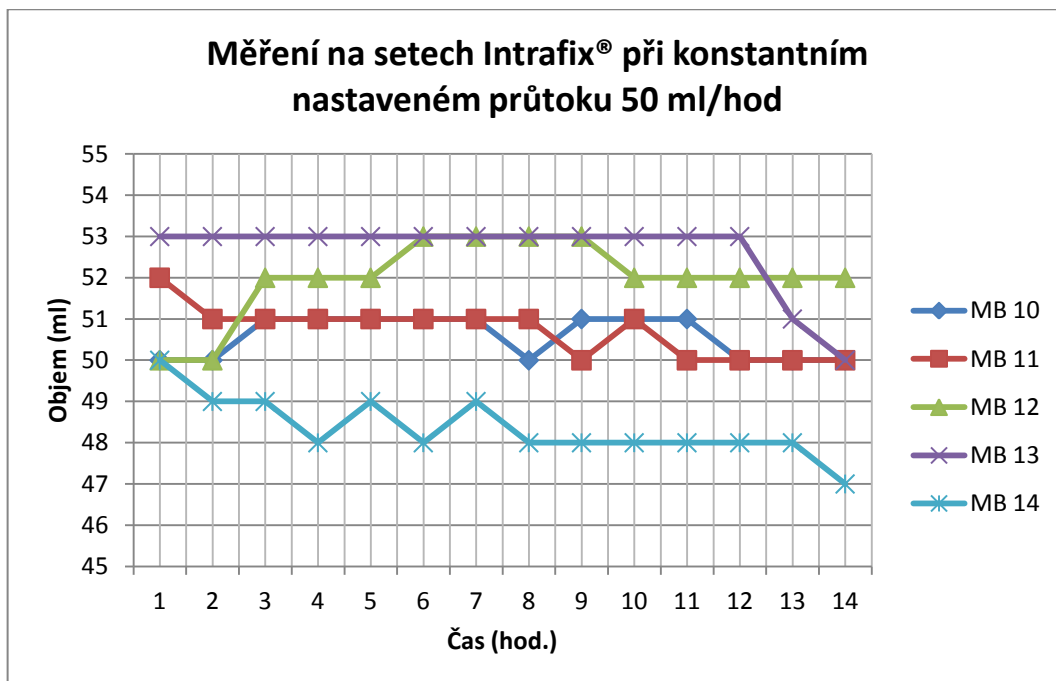
Hodina	Měření 10 (ml)	Měření 11 (ml)	Měření 12 (ml)	Měření 13 (ml)	Měření 14 (ml)
1.	50	52	50	53	50
2.	50	51	50	53	49
3.	51	51	52	53	49
4.	51	51	52	53	48
5.	51	51	52	53	49
6.	51	51	53	53	48
7.	51	51	53	53	49
8.	50	51	53	53	48
9.	51	50	53	53	48
10.	51	51	52	53	48
11.	51	50	52	53	48
12.	50	50	52	53	48
13.	50	50	52	51	48
14.	50	50	52	50	47

Tab. 3: Rozdíl od ideálního objemu 50 ml pro jednotlivá měření

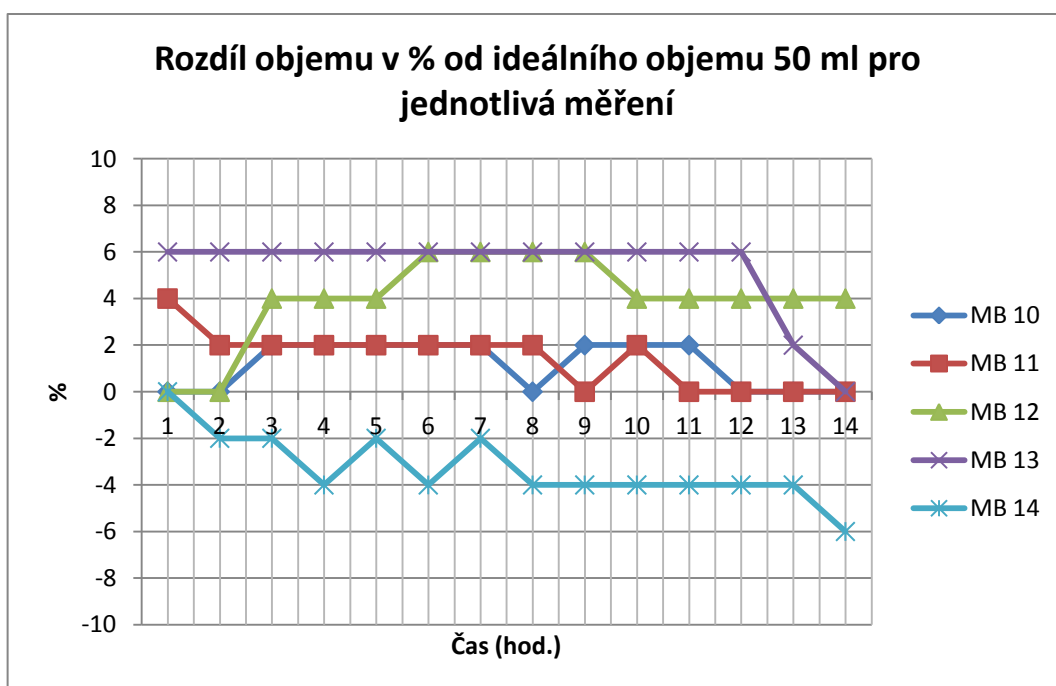
Hodina	Měření 10 (%)	Měření 11 (%)	Měření 12 (%)	Měření 13 (%)	Měření 14 (%)
1.	0	4	0	6	0
2.	0	2	0	6	-2
3.	2	2	4	6	-2
4.	2	2	4	6	-4
5.	2	2	4	6	-2
6.	2	2	6	6	-4
7.	2	2	6	6	-2
8.	0	2	6	6	-4
9.	2	0	6	6	-4
10.	2	2	4	6	-4
11.	2	0	4	6	-4
12.	0	0	4	6	-4
13.	0	0	4	2	-4
14.	0	0	4	0	-6

Na následujícím grafu (Graf. 1) jsou pro přehlednost zobrazena data z tabulky (Tab. 2) a na grafu (Graf. 2) jsou zobrazeny odchylky množství naměřeného objemu od objemu ideálního (50 ml) v procentech z tabulky (Tab. 3).

Graf. 1: Měření na infuzních setech Intrafix® při konstantním nastaveném průtoku 50 ml/hod



Graf. 2: Rozdíl od ideálního objemu 50 ml pro jednotlivá měření v procentech



Tabulka (Tab. 4) obsahuje data pořízená rovněž při 14hodinovém testu, ale se změněným průtokem 300 ml/hod. Stejně jako u měření s nižším průtokem ani v tomto případě nedošlo ani v jednom případě ke správným výsledkům po celou dobu měření. Graf (Graf. 3)

zobrazuje naměřené výsledky a graf (Graf. 4) rozdíl od ideálního objemu 300 ml z tabulky (Tab. 5).

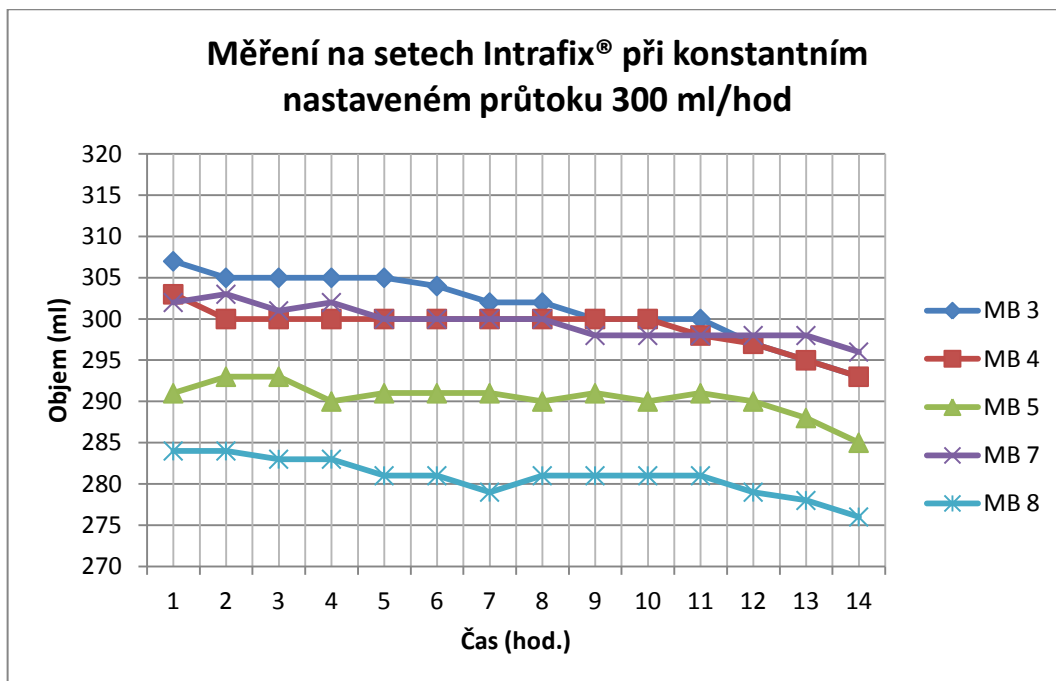
Tab. 4: Měření s infuzními sety Intrafix® při nastaveném konstantním průtoku 300 ml/hod

Hodina	Měření 3 (ml)	Měření 4 (ml)	Měření 5 (ml)	Měření 7 (ml)	Měření 8 (ml)
1.	307	303	291	302	284
2.	305	300	293	303	284
3.	305	300	293	301	283
4.	305	300	290	302	283
5.	305	300	291	300	281
6.	304	300	291	300	281
7.	302	300	291	300	279
8.	302	300	290	300	281
9.	300	300	291	298	281
10.	300	300	290	298	281
11.	300	298	291	298	281
12.	297	297	290	298	279
13.	295	295	288	298	278
14.	293	293	285	296	276

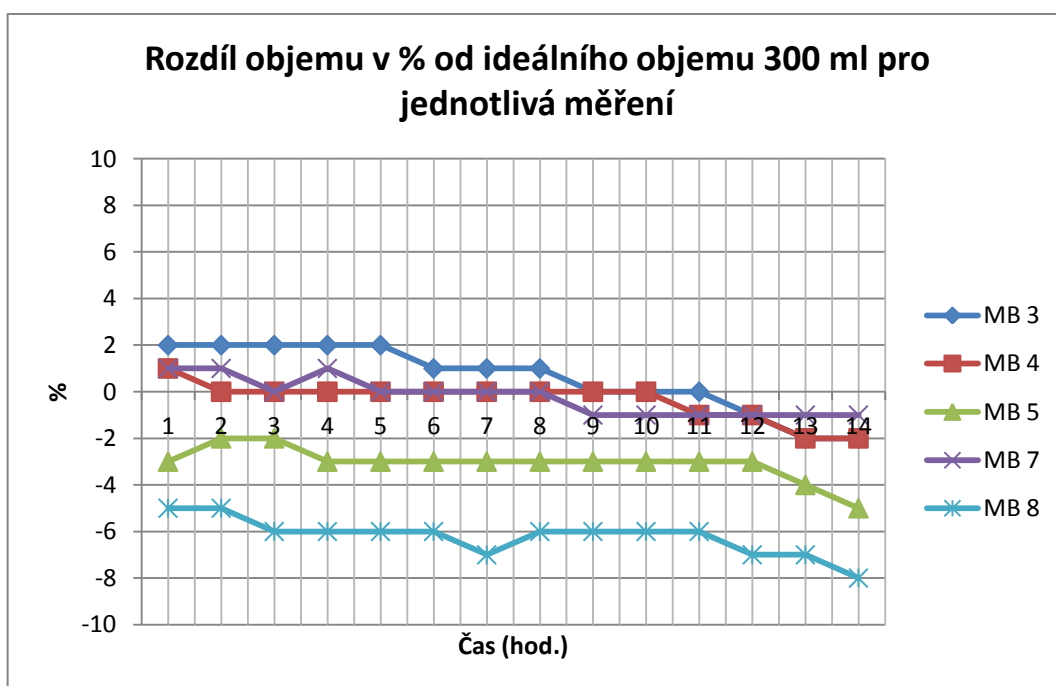
Tab. 5: Rozdíl od ideálního objemu 300 ml pro jednotlivá měření

Hodina	Měření 3 (%)	Měření 4 (%)	Měření 5 (%)	Měření 7 (%)	Měření 8 (%)
1.	2	1	-3	1	-5
2.	2	0	-2	1	-5
3.	2	0	-2	0	-6
4.	2	0	-3	1	-6
5.	2	0	-3	0	-6
6.	1	0	-3	0	-6
7.	1	0	-3	0	-7
8.	1	0	-3	0	-6
9.	0	0	-3	-1	-6
10.	0	0	-3	-1	-6
11.	0	-1	-3	-1	-6
12.	-1	-1	-3	-1	-7
13.	-2	-2	-4	-1	-7
14.	-2	-2	-5	-1	-8

Graf. 3: Měření na infuzních setech Intrafix® při konstantním nastaveném průtoku 300 ml/hod



Graf. 4: Rozdíl od ideálního objemu 300 ml pro jednotlivá měření v procentech



5.2. Experimentální měření s infuzními sety Infudrop®

Testování s těmito sety proběhlo stejně jako se sety Intrafix®, byly použity stejné hodnoty nastavených průtoků a jednotlivé testy trvaly rovněž 14 hodin. V tabulkách (Tab. 6) a (Tab. 8) jsou uvedeny naměřené hodnoty při konstantních průtocích 50 ml/hod a 300 ml/hod. V tabulkách (Tab. 7) a (Tab. 9) jsou poté uvedeny rozdíly od ideálních výsledků v procentech.

Tab. 6: Měření s infuzními sety Infudrop® při nastaveném konstantním průtoku 50 ml/hod

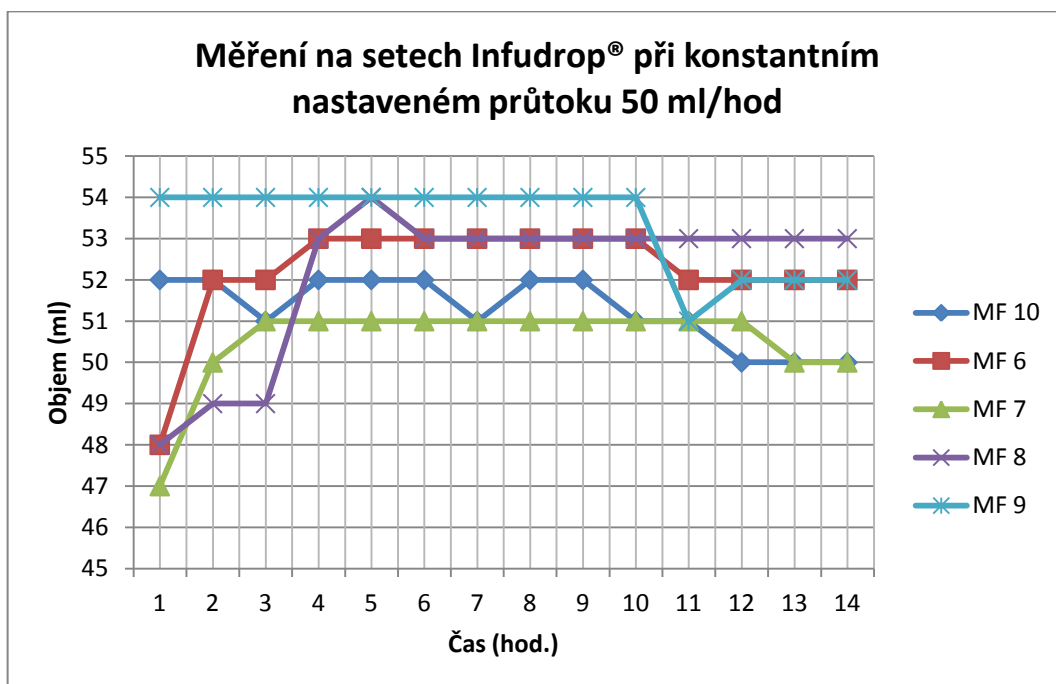
Hodina	Měření 6 (ml)	Měření 7 (ml)	Měření 8 (ml)	Měření 9 (ml)	Měření 10 (ml)
1.	48	47	48	54	52
2.	52	50	49	54	52
3.	52	51	49	54	51
4.	53	51	53	54	52
5.	53	51	54	54	52
6.	53	51	53	54	52
7.	53	51	53	54	51
8.	53	51	53	54	52
9.	53	51	53	54	52
10.	53	51	53	54	51
11.	52	51	53	51	51
12.	52	51	53	52	50
13.	52	50	53	52	50
14.	52	50	53	52	50

Tab. 7: Rozdíl od ideálního objemu 50 ml pro jednotlivá měření

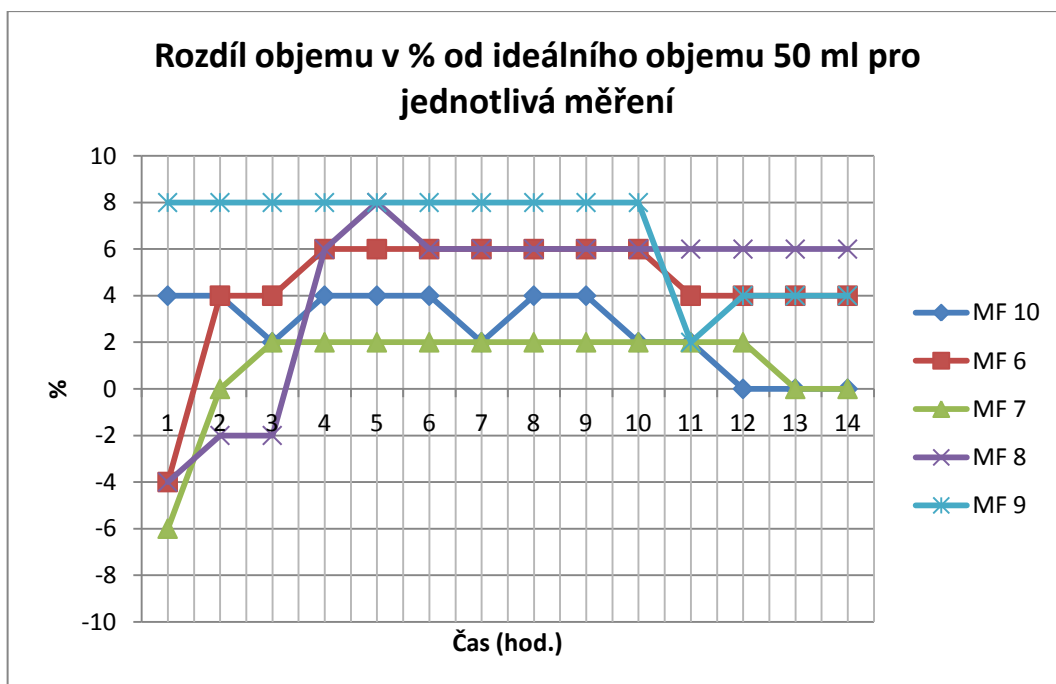
Hodina	Měření 6 (%)	Měření 7 (%)	Měření 8 (%)	Měření 9 (%)	Měření 10 (%)
1.	-4	-6	-4	8	4
2.	4	0	-2	8	4
3.	4	2	-2	8	2
4.	6	2	6	8	4
5.	6	2	8	8	4
6.	6	2	6	8	4
7.	6	2	6	8	2
8.	6	2	6	8	4
9.	6	2	6	8	4
10.	6	2	6	8	2
11.	4	2	6	2	2
12.	4	2	6	4	0
13.	4	0	6	4	0
14.	4	0	6	4	0

Pro lepší vizuální orientaci jsou hodnoty z tabulek (Tab. 6) a (Tab. 8) zobrazeny v grafech (Graf. 5) a (Graf. 7). Dále jsou v grafech (Graf. 6) a (Graf. 8) uvedeny rozdíly od ideálních objemů uvedené v tabulkách (Tab. 7) a (Tab. 9).

Graf. 5: Měření na infuzních satech Infudrop® při konstantním nastaveném průtoku 50 ml/hod



Graf. 6: Rozdíl od ideálního objemu 50 ml pro jednotlivá měření v procentech



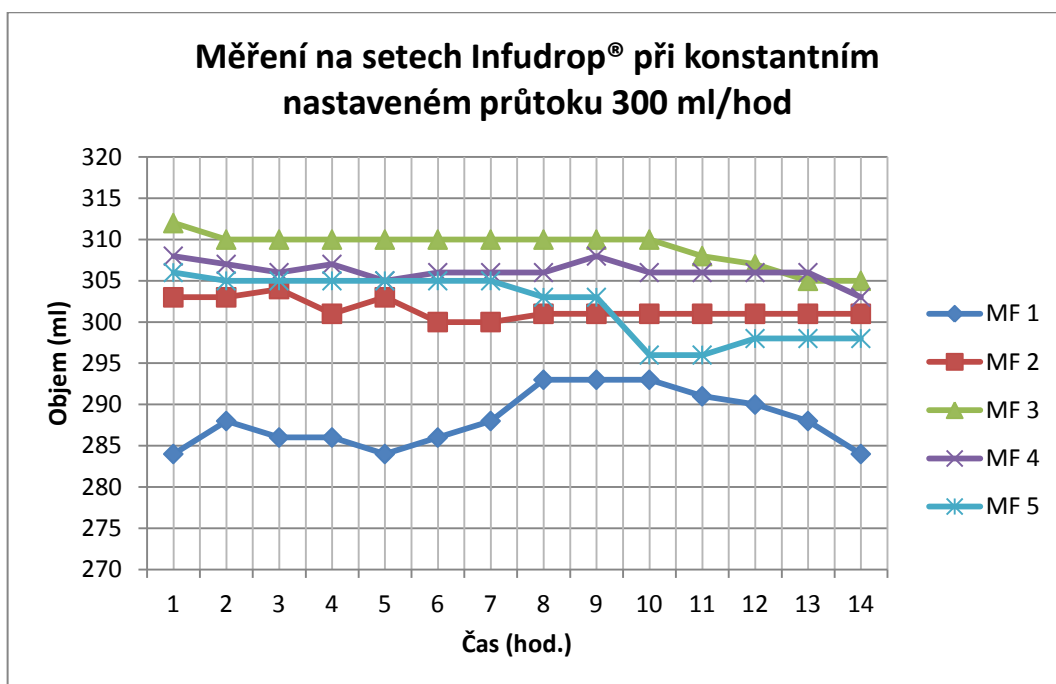
Tab. 8: Měření s infuzními sety Infudrop® při nastaveném konstantním průtoku 300 ml/hod

Hodina	Měření 1 (ml)	Měření 2 (ml)	Měření 3 (ml)	Měření 4 (ml)	Měření 5 (ml)
1.	284	303	312	308	306
2.	288	303	310	307	305
3.	286	304	310	306	305
4.	286	301	310	307	305
5.	284	303	310	305	305
6.	286	300	310	306	305
7.	288	300	310	306	305
8.	293	301	310	306	303
9.	293	301	310	308	303
10.	293	301	310	306	296
11.	291	301	308	306	296
12.	290	301	307	306	298
13.	288	301	305	306	298
14.	284	301	305	303	298

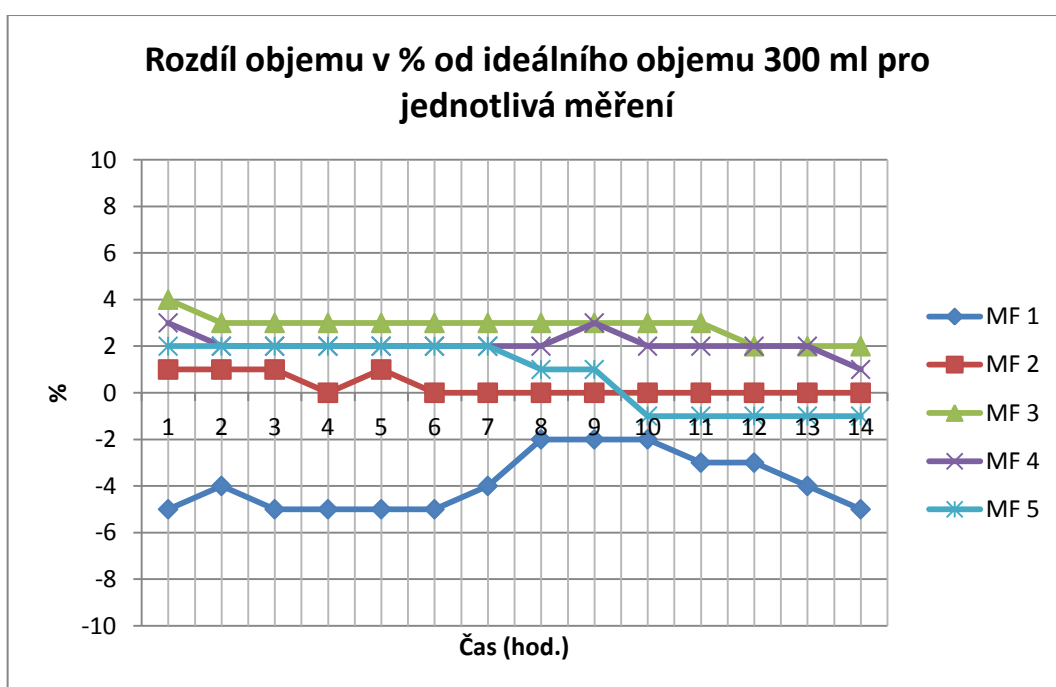
Tab. 9: Rozdíl od ideálního objemu 300 ml pro jednotlivá měření

Hodina	Měření 1 (%)	Měření 2 (%)	Měření 3 (%)	Měření 4 (%)	Měření 5 (%)
1.	-5	1	4	3	2
2.	-4	1	3	2	2
3.	-5	1	3	2	2
4.	-5	0	3	2	2
5.	-5	1	3	2	2
6.	-5	0	3	2	2
7.	-4	0	3	2	2
8.	-2	0	3	2	1
9.	-2	0	3	3	1
10.	-2	0	3	2	-1
11.	-3	0	3	2	-1
12.	-3	0	2	2	-1
13.	-4	0	2	2	-1
14.	-5	0	2	1	-1

Graf. 7: Měření na infuzních setech Infudrop® při konstantním nastaveném průtoku 300 ml/hod



Graf. 8: Rozdíl od ideálního objemu 300 ml pro jednotlivá měření v procentech



5.3. Experimentální měření s infuzními sety Standardline®

I poslední testované sety firmy Gama® byly testovány za stejných podmínek jako dvacet předešlých měření tj. po dobu 14 hodin byly odebírány ve stejný čas každou hodinu vzorky do

odměrného válce, které by v ideálním případě měly nabývat hodnot, jaké byly původně zadány na infuzní pumpě Argus 400 (50 ml/hod a 300 ml/hod). V tabulkách (Tab. 10) a (Tab. 12) jsou uvedeny naměřené hodnoty při konstantních průtocích 50 ml/hod a 300 ml/hod. V tabulkách (Tab. 11) a (Tab. 13) jsou poté uvedeny rozdíly od ideálních výsledků, které jsou uvedeny v procentech.

Tab. 10: Měření s infuzními sety Standardline® při nastaveném konstantním průtoku 50 ml/hod

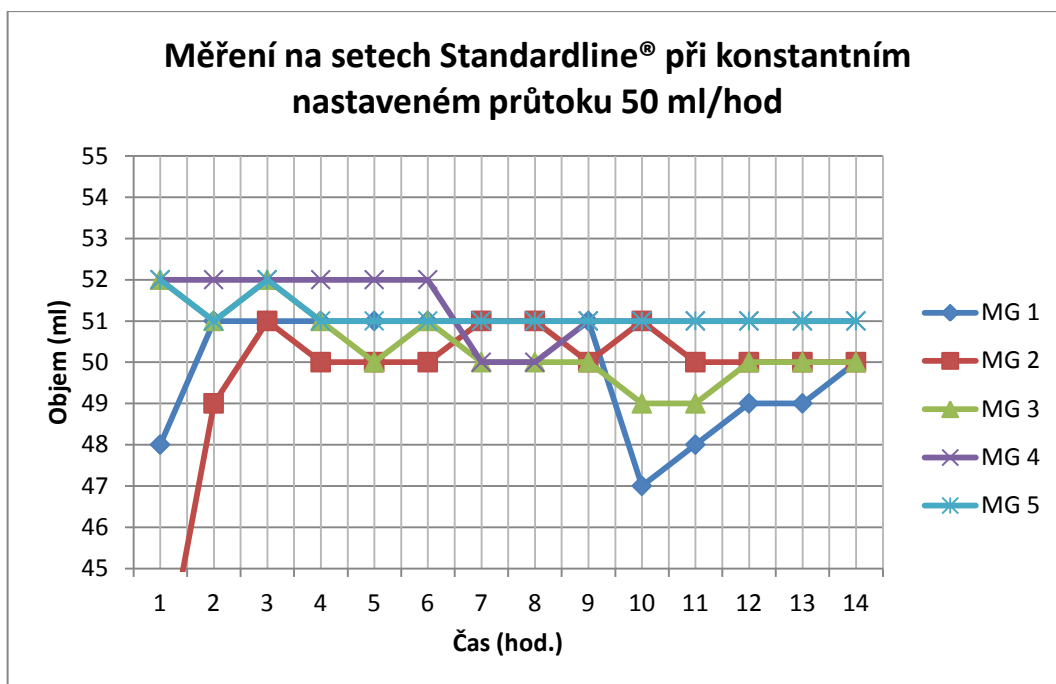
Hodina	Měření 1 (ml)	Měření 2 (ml)	Měření 3 (ml)	Měření 4 (ml)	Měření 5 (ml)
1.	48	42	52	52	52
2.	51	49	51	52	51
3.	51	51	52	52	52
4.	51	50	51	52	51
5.	51	50	50	52	51
6.	51	50	51	52	51
7.	51	51	50	50	51
8.	51	51	50	50	51
9.	51	50	50	51	51
10.	47	51	49	51	51
11.	48	50	49	51	51
12.	49	50	50	51	51
13.	49	50	50	51	51
14.	50	50	50	51	51

Tab. 11: Rozdíl od ideálního objemu 50 ml pro jednotlivá měření

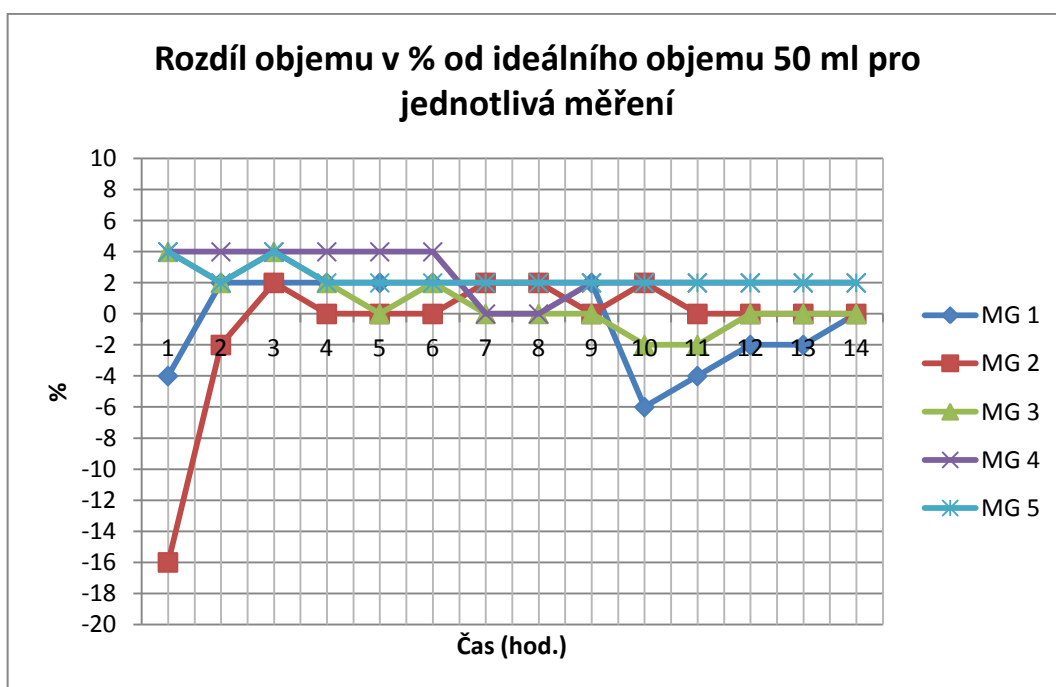
Hodina	Měření 1 (%)	Měření 2 (%)	Měření 3 (%)	Měření 4 (%)	Měření 5 (%)
1.	-4	-16	4	4	4
2.	2	-2	2	4	2
3.	2	2	4	4	4
4.	2	0	2	4	2
5.	2	0	0	4	2
6.	2	0	2	4	2
7.	2	2	0	0	2
8.	2	2	0	0	2
9.	2	0	0	2	2
10.	-6	2	-2	2	2
11.	-4	0	-2	2	2
12.	-2	0	0	2	2
13.	-2	0	0	2	2
14.	0	0	0	2	2

Pro lepší vizuální orientaci jsou hodnoty z tabulek (Tab. 10) a (Tab. 12) zobrazeny v grafech (Graf. 9) a (Graf. 11). Dále jsou v grafech (Graf. 10) a (Graf. 12) uvedeny rozdíly od ideálních objemů uvedené v tabulkách (Tab. 11) a (Tab. 13).

Graf. 9: Měření na infuzních satech Standardline® při konstantním nastaveném průtoku 50 ml/hod



Graf. 10: Rozdíl od ideálního objemu 50 ml pro jednotlivá měření v procentech



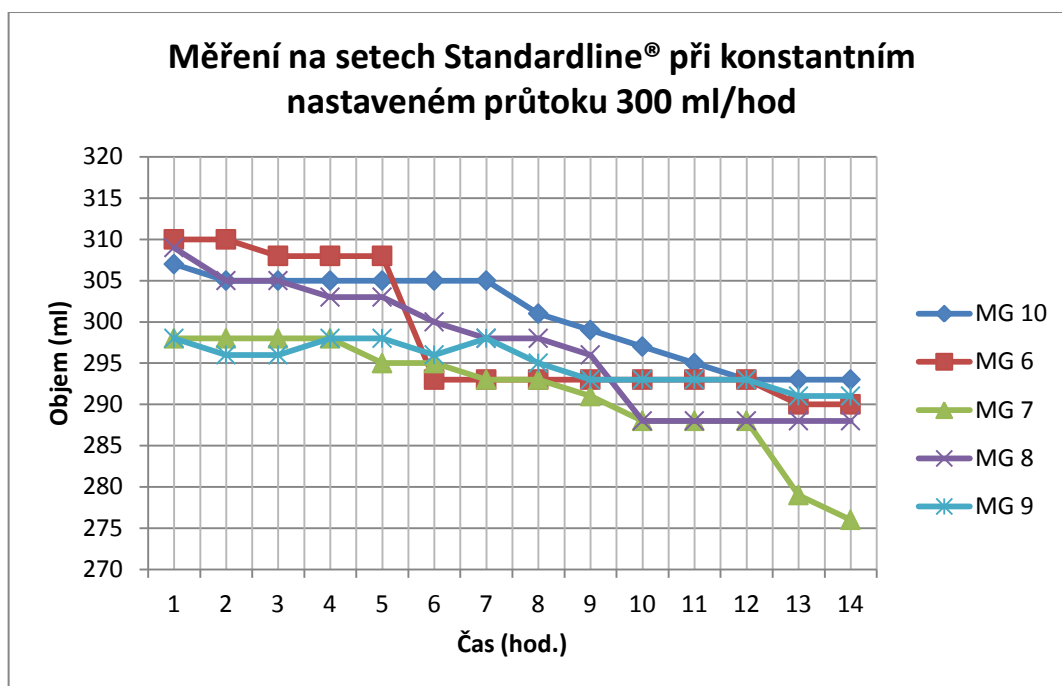
Tab. 12: Měření s infuzními sety Standardline® při nastaveném konstantním průtoku 300 ml/hod

Hodina	Měření 6 (ml)	Měření 7 (ml)	Měření 8 (ml)	Měření 9 (ml)	Měření 10 (ml)
1.	310	298	309	298	307
2.	310	298	305	296	305
3.	308	298	305	296	305
4.	308	298	303	298	305
5.	308	295	303	298	305
6.	293	295	300	296	305
7.	293	293	298	298	305
8.	293	293	298	295	301
9.	293	291	296	293	299
10.	293	288	288	293	297
11.	293	288	288	293	295
12.	293	288	288	293	293
13.	290	279	288	291	293
14.	290	276	288	291	293

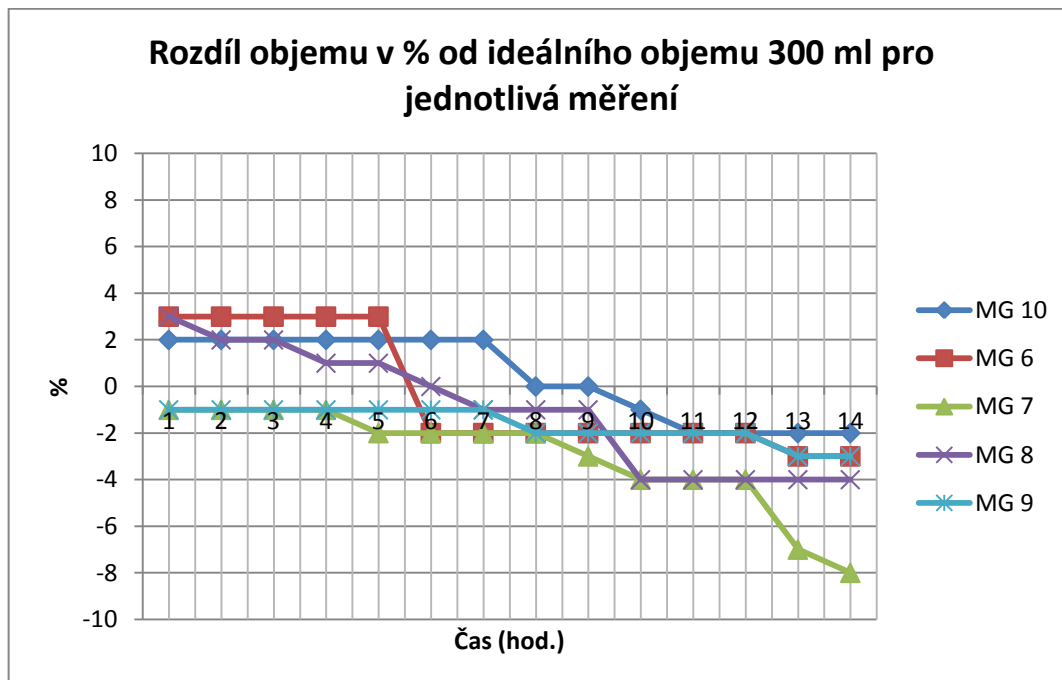
Tab. 13: Rozdíl od ideálního objemu 300 ml pro jednotlivá měření

Hodina	Měření 6 (%)	Měření 7 (%)	Měření 8 (%)	Měření 9 (%)	Měření 10 (%)
1.	3	-1	3	-1	2
2.	3	-1	2	-1	2
3.	3	-1	2	1	2
4.	3	-1	1	-1	2
5.	3	-2	1	-1	2
6.	-2	-2	0	-1	2
7.	-2	-2	-1	-1	2
8.	-2	-2	-1	-2	0
9.	-2	-3	-1	-2	0
10.	-2	-4	-4	-2	-1
11.	-2	-4	-4	-2	-2
12.	-2	-4	-4	-2	-2
13.	-3	-7	-4	-3	-2
14.	-3	-8	-4	-3	-2

Graf. 11: Měření na infuzních setech Standardline® při konstantním nastaveném průtoku 300 ml/hod



Graf. 12: Rozdíl od ideálního objemu 300 ml pro jednotlivá měření v procentech



6. Vyhodnocení experimentálních dat

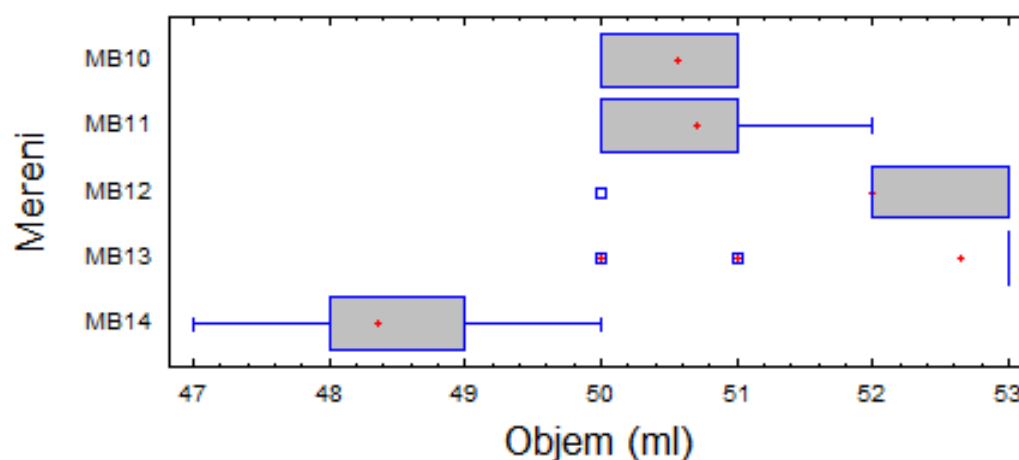
Pro vyhodnocení experimentálních měření (dat) z hlediska časové stability infuzních setů a vlivu na neurčitost dávkování je zapotřebí provést statistické vyhodnocení. Data tedy budou podrobena vícevýběrovému testu hypotéz, z nichž jsou možné dvě varianty. ANOVA (z anglického Analysis of variance - ANOVA), což je metoda matematické statistiky, která umožňuje ověřit, zda na hodnotu náhodné veličiny pro určitého jedince má statisticky významný vliv hodnota některého znaku, který se dá u daného jedince pozorovat. ANOVA v podstatě umožňuje srovnávat několik středních hodnot nezávislých náhodných výběrů. Nutnou podmínkou pro možnost statistického zpracování dat pomocí metody ANOVA je normalita rozdělení dat a tzv. homoskedasticita neboli shoda rozptylů. Pokud nejsou obě tyto nutné podmínky splněny, je možné použít druhou variantu vícevýběrových testů hypotéz a to neparametrický Kruskal-Wallisův test. Na rozdíl od parametrického testu (ANOVA) není nutná podmínka normality rozdělení, avšak jeho nevýhodou je poté menší citlivost.

U každé sady dat, která představuje vždy pět čtrnáctihodinových nezávislých měření s nastaveným průtokem 50 ml/hod nebo 300 ml/hod a na jednom ze tří možných typů infuzních setů, bude nejprve provedeno vizuální posouzení dat. Celá statistická analýza bude provedena v programu StatGraphics Plus 5.0 a na appletu Kruskalův-Wallisův a Levenův test od Ing. Martiny Litschmannové, PhD., který je dostupný na stránkách <http://mi21.vsb.cz/modul/uvod-do-statistiky>. Následně po vizuálním posouzení dat bude provedeno ověření normality a homoskedasticity rozdělení dat, které rozhodne a dalším postupu při zpracování dat. Dále bude proveden buďto parametrický test ANOVA nebo neparametrický Kruskal-Wallisův test.

6.1. Infuzní sety Intrafix® při nastaveném průtoku 50 ml/hod

Ke statistické analýze posloužila data z tabulky (Tab. 2). Z těchto dat byl sestrojen krabicový diagram (Graf. 13), který ukazuje, jak jsou data rozložena. Ohraničení obdélníků znamená označení dolního a horního kvartilu, čtverečky znázorňují odlehlá data, která v tomto případě byla ponechána, neboť vzhledem k jejich hodnotě nešlo o nijak závažné změny objemu, které by měly vliv na pozdější analýzu. Z krabicového diagramu pak je zajímavá ještě hodnota mediánu, která je znázorněna červeným křížkem a znamená střed vzestupně seřazených dat. Například měření MB13 je specifické tím, že 13 z 15 odebraných vzorků odpovídá hodnotě 53 ml, pouze dva vzorky odpovídají jiným, nižším hodnotám, konkrétně 51 a 50 ml, což v celkovém hodnocení krabicového diagramu ukazuje, že jsou tato data posouzena jako data odlehlá.

Graf. 13: Krabicový diagram pro sety Intrafix® s průtokem 50 ml/hod



Ověření normality:

H_0 : Data pocházejí z normálního rozdělení

H_A : Data nepocházejí z normálního rozdělení

Zvolený test: Shapiro-Wilkův

P-hodnota: viz. tabulka ověření normality (Tab. 14)

Tab. 14: P-hodnota (ověření normality dat)

Měření	p-hodnota (Shapiro-Wilkův)
MB10	< 0,001
MB11	0,001
MB12	< 0,001
MB13	< 0,001
MB14	0,010

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu, data tedy nepocházejí z normálního rozdělení.

Ověření homoskedasticity (shody rozptylů):

H_0 : Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, lze považovat za shodné.

H_A : Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, nelze považovat za shodné.

Zvolený test: Jelikož není splněna normalita, data jsou podrobena Leveneovu testu.

P-hodnota: < 0,001

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu. Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, nelze považovat za shodné.

Po zjištění, že data nepochází z normálního rozdělení, ani nesplňují podmínku homoskedasticity, je zvolen pro pokračování ve statistické analýze Kruskalův-Wallisův test.

Kruskalův-Wallisův test

H₀: Hodnoty zjištěných objemů nejsou v rámci jednotlivých měření odlišné.

H_A: Hodnoty zjištěných objemů jsou v rámci jednotlivých měření odlišné.

P-hodnota: < 0,001

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu. Hodnoty zjištěných objemů jsou v rámci jednotlivých měření odlišné. Každé měření se tedy chová naprosto odlišně a neexistuje mezi nimi statisticky významná souvislost.

V případě zamítnutí nulové hypotézy je vhodné provést post-hoc analýzu, která nám napoví, které dvojice skupin se statisticky významně liší. Pro tuto analýzu bude použita Neményiova metoda.

Post-hoc analýza: viz. tabulka pro post-hoc (Tab. 15)

Tab. 15: Post-hoc analýza

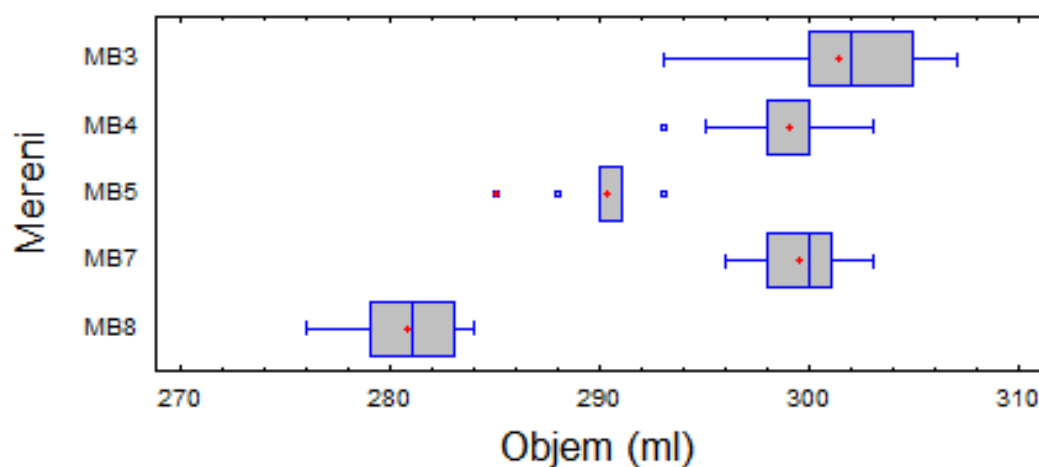
<i>r \ s</i>	1	2	3	4	5
1	-	2,071 (22,8)	19,286 (22,8)	27,571 (22,8)	22,143 (22,8)
2	2,071 (22,8)	-	17,214 (22,8)	25,5 (22,8)	24,214 (22,8)
3	19,286 (22,8)	17,214 (22,8)	-	8,286 (22,8)	41,429 (22,8)
4	27,571 (22,8)	25,5 (22,8)	8,286 (22,8)	-	49,714 (22,8)
5	22,143 (22,8)	24,214 (22,8)	41,429 (22,8)	49,714 (22,8)	-

Statisticky významný rozdíl v průměrech mezi skupinami je na hladině významnosti 5 % indikován červeným zbarvením pole znaménkového schématu. V tomto případě můžeme konstatovat, že statisticky významně se mezi sebou liší následující měření z tabulky (Tab. 2): měření č.10 s měřením č.13, č.11 s č.13, č.11 s č.14 a měření č.12 s měřením č.14.

6.2. Infuzní sety Intrafix® při nastaveném průtoku 300 ml/hod

Data ke statistické analýze jsou uvedena v tabulce (Tab. 4). Postup je totožný jako u prvních analyzovaných dat. Vizuální posouzení je opět možno provést z krabicového diagramu (Graf. 14).

Graf. 14: Krabicový diagram pro sety Intrafix® s průtokem 300 ml/hod



Ověření normality:

H_0 : Data pocházejí z normálního rozdělení

H_A : Data nepocházejí z normálního rozdělení

Zvolený test: Shapiro-Wilkův

P-hodnota: viz. tabulka ověření normality (Tab. 16)

Tab. 16: P-hodnota (ověření normality dat)

Měření	p-hodnota (Shapiro-Wilkův)
MB3	0,210
MB4	0,002
MB5	0,007
MB7	0,318
MB8	0,221

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu, data tedy nepocházejí z normálního rozdělení.

Ověření homoskedasticity (shody rozptylů):

H_0 : Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, lze považovat za shodné.

H_A : Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, nelze považovat za shodné.

Zvolený test: Jelikož není splněna normalita, data jsou podrobena Leveneovu testu.

P-hodnota: < 0,001

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu. Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, nelze považovat za shodné.

Po zjištění, že data nepochází z normálního rozdělení, ani nesplňují podmínku homoskedasticity, je zvolen pro pokračování ve statistické analýze Kruskalův-Wallisův test.

Kruskalův-Wallisův test

H₀: Hodnoty zjištěných objemů nejsou v rámci jednotlivých měření odlišné.

H_A: Hodnoty zjištěných objemů jsou v rámci jednotlivých měření odlišné.

P-hodnota: < 0,001

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu. Hodnoty zjištěných objemů jsou v rámci jednotlivých měření odlišné. Každé měření se tedy chová naprosto odlišně a neexistuje mezi nimi statisticky významná souvislost.

V případě zamítnutí nulové hypotézy je vhodné provést post-hoc analýzu, která nám napoví o tom, které dvojice skupin se statisticky významně liší. Pro tuto analýzu bude použita Neményiova metoda.

Post-hoc analýza: viz. tabulka pro post-hoc (Tab. 17)

Tab. 17: Post-hoc analýza

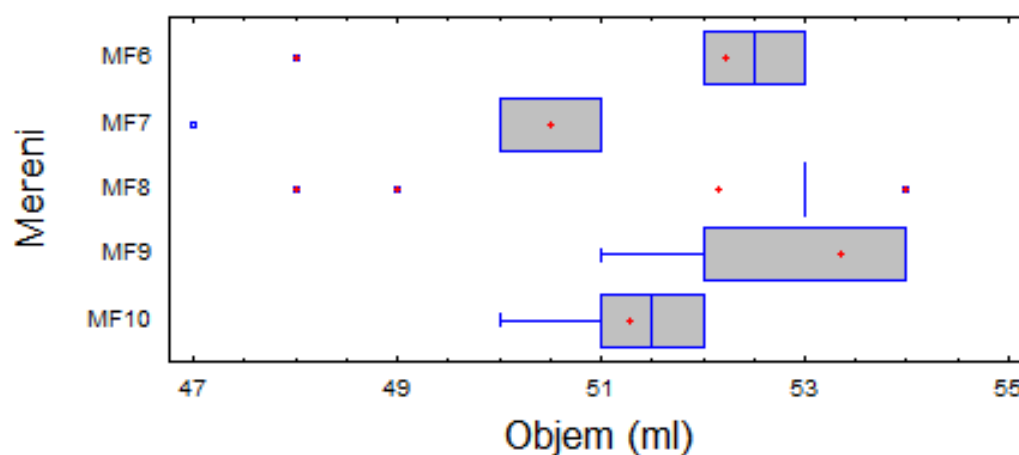
<i>r \ s</i>	1	2	3	4	5
1	-	9,071 (22,8)	33,286 (22,8)	7,357 (22,8)	47,429 (22,8)
2	9,071 (22,8)	-	24,214 (22,8)	1,714 (22,8)	38,357 (22,8)
3	33,286 (22,8)	24,214 (22,8)	-	25,929 (22,8)	14,143 (22,8)
4	7,357 (22,8)	1,714 (22,8)	25,929 (22,8)	-	40,071 (22,8)
5	47,429 (22,8)	38,357 (22,8)	14,143 (22,8)	40,071 (22,8)	-

Statisticky významný rozdíl v průměrech mezi skupinami je na hladině významnosti 5 % indikován červeným zbarvením pole znaménkového schématu. V tomto případě můžeme konstatovat, že statisticky významně se mezi sebou liší následující měření z tabulky (Tab. 4): č.3 a č.5, č.3 a č.8, č.4 a č.5, č.4 a č.8, č.5 a č.7, č.7 a č.8.

6.3. Infuzní sety Infudrop® při nastaveném průtoku 50 ml/hod

Data ke statistické analýze jsou uvedena v tabulce (Tab. 6). Na řadu opět přichází nejprve vizuální posouzení výběru dat (Graf. 15) a poté ověření normality a homoskedasticity. Podle těchto ověření se rozhodne o dalším postupu v analýze dat.

Graf. 15: Krabicový diagram pro sety Infudrop® s průtokem 50 ml/hod



Ověření normality:

H_0 : Data pocházejí z normálního rozdělení

H_A : Data nepocházejí z normálního rozdělení

Zvolený test: Shapiro-Wilkův

P-hodnota: viz. tabulka ověření normality (Tab. 18)

Tab. 18: P-hodnota (ověření normality dat)

Měření	p-hodnota (Shapiro-Wilkův)
MB6	< 0,001
MB7	< 0,001
MB8	< 0,001
MB9	< 0,001
MB10	0,001

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu, data tedy nepocházejí z normálního rozdělení.

Ověření homoskedasticity (shody rozptylů):

H_0 : Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, lze považovat za shodné.

H_A : Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, nelze považovat za shodné.

Zvolený test: Jelikož není splněna normalita, data jsou podrobena Leveneovu testu.

P-hodnota: 0,01

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu. Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, nelze považovat za shodné.

Po zjištění, že data nepochází z normálního rozdělení, ani nesplňují podmínku homoskedasticity, je zvolen pro pokračování ve statistické analýze Kruskalův-Wallisův test.

Kruskalův-Wallisův test

H₀: Hodnoty zjištěných objemů nejsou v rámci jednotlivých měření odlišné.

H_A: Hodnoty zjištěných objemů jsou v rámci jednotlivých měření odlišné.

P-hodnota: < 0,001

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu. Hodnoty zjištěných objemů jsou v rámci jednotlivých měření odlišné. Každé měření se tedy chová naprosto odlišně a neexistuje mezi nimi statisticky významná souvislost.

V případě zamítnutí nulové hypotézy je vhodné provést post-hoc analýzu, která nám napoví, které dvojice skupin se statisticky významně liší. Pro tuto analýzu bude použita Neményiova metoda.

Post-hoc analýza: viz. tabulka pro post-hoc (Tab. 19)

Tab. 19: Post-hoc analýza

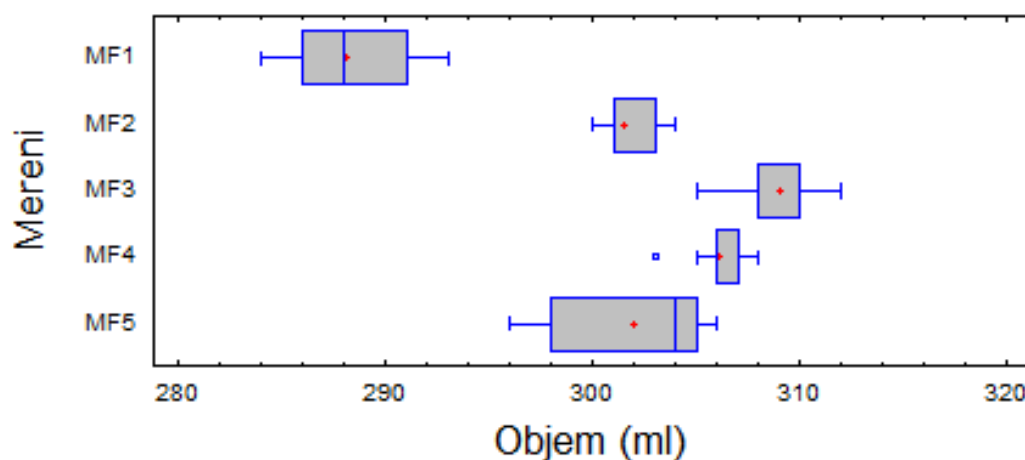
<i>r \ s</i>	1	2	3	4	5
1	-	25 (22,8)	1,429 (22,8)	14,714 (22,8)	15,964 (22,8)
2	25 (22,8)	-	26,429 (22,8)	39,714 (22,8)	9,036 (22,8)
3	1,429 (22,8)	26,429 (22,8)	-	13,286 (22,8)	17,393 (22,8)
4	14,714 (22,8)	39,714 (22,8)	13,286 (22,8)	-	30,679 (22,8)
5	15,964 (22,8)	9,036 (22,8)	17,393 (22,8)	30,679 (22,8)	-

Statisticky významný rozdíl v průměrech mezi skupinami je na hladině významnosti 5 % indikován červeným zbarvením pole znaménkového schématu. V tomto případě můžeme konstatovat, že statisticky významně se mezi sebou liší následující měření z tabulky (Tab. 6): č.6 a č.7, č.7 a č.8, č.7 a č.9, č.9 a č.10.

6.4. Infuzní sety Infudrop® při nastaveném průtoku 300 ml/hod

Data ke statistické analýze jsou uvedena v tabulce (Tab. 8). Zde je vizuální posouzení výběru dat (Graf. 16), poté ověření normality a homoskedasticity. Podle těchto ověření se rozhodne o dalším postupu v analýze dat.

Graf. 16: Krabicový diagram pro sety Infudrop® s průtokem 300 ml/hod



Ověření normality:

H_0 : Data pocházejí z normálního rozdělení

H_A : Data nepocházejí z normálního rozdělení

Zvolený test: Shapiro-Wilkův

P-hodnota: viz. tabulka ověření normality (Tab. 20)

Tab. 20: P-hodnota (ověření normality dat)

Měření	p-hodnota (Shapiro-Wilkův)
MB1	0,092
MB2	0,004
MB3	< 0,001
MB4	0,010
MB5	0,003

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu, data tedy nepocházejí z normálního rozdělení.

Ověření homoskedasticity (shody rozptylů):

H_0 : Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, lze považovat za shodné.

H_A : Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, nelze považovat za shodné.

Zvolený test: Jelikož není splněna normalita, data jsou podrobena Leveneovu testu.

P-hodnota: < 0,001

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu. Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, nelze považovat za shodné.

Po zjištění, že data nepochází z normálního rozdělení, ani nesplňují podmínku homoskedasticity, je zvolen pro pokračování ve statistické analýze Kruskalův-Wallisův test.

Kruskalův-Wallisův test

H₀: Hodnoty zjištěných objemů nejsou v rámci jednotlivých měření odlišné.

H_A: Hodnoty zjištěných objemů jsou v rámci jednotlivých měření odlišné.

P-hodnota: < 0,001

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu. Hodnoty zjištěných objemů jsou v rámci jednotlivých měření odlišné.. Každé měření se tedy chová naprosto odlišně a neexistuje mezi nimi statisticky významná souvislost.

V případě zamítnutí nulové hypotézy je vhodné provést post-hoc analýzu, která nám napoví, které dvojice skupin se statisticky významně liší. Pro tuto analýzu bude použita Neményiova metoda.

Post-hoc analýza: viz. tabulka pro post-hoc (Tab. 21)

Tab. 21: Post-hoc analýza

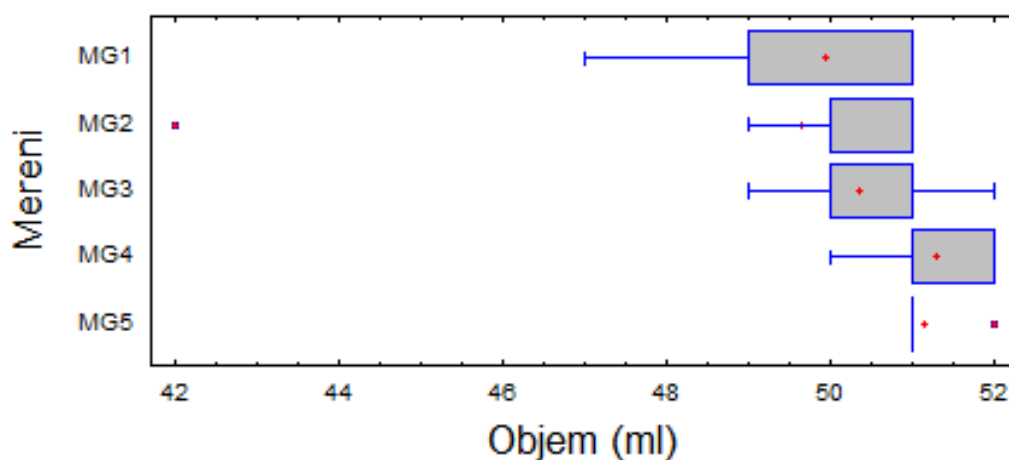
<i>r \ s</i>	1	2	3	4	5
1	-	19,536 (22,8)	53,357 (22,8)	42,75 (22,8)	24,357 (22,8)
2	19,536 (22,8)	-	33,821 (22,8)	23,214 (22,8)	4,821 (22,8)
3	53,357 (22,8)	33,821 (22,8)	-	10,607 (22,8)	29 (22,8)
4	42,75 (22,8)	23,214 (22,8)	10,607 (22,8)	-	18,393 (22,8)
5	24,357 (22,8)	4,821 (22,8)	29 (22,8)	18,393 (22,8)	-

Statisticky významný rozdíl v průměrech mezi skupinami je na hladině významnosti 5 % indikován červeným zbarvením pole znaménkového schématu. V tomto případě můžeme konstatovat, že statisticky významně se mezi sebou liší následující měření z tabulky (Tab. 8): č.1 a č.3, č.1 a č.4, č.1 a č.5, č.2 a č.3, č.2 a č.4, č.3 a č.5.

6.5. Infuzní sety Standardline® při nastaveném průtoku 50 ml/hod

Data ke statistické analýze jsou uvedena v tabulce (Tab. 10). Postup, jakým se postupuje je totožný, jako u předešlých analyzovaných dat. Vizualní posouzení je opět možno provést z krabicového diagramu (Graf. 17).

Graf. 17: Krabicový diagram pro sety Standardline® s průtokem 50 ml/hod



Ověření normality:

H_0 : Data pocházejí z normálního rozdělení

H_A : Data nepocházejí z normálního rozdělení

Zvolený test: Shapiro-Wilkův

P-hodnota: viz. tabulka ověření normality (Tab. 22)

Tab. 22: P-hodnota (ověření normality dat)

Měření	p-hodnota (Shapiro-Wilkův)
MG1	0,001
MG2	< 0,001
MG3	0,039
MG4	0,004
MG5	< 0,001

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu, data tedy nepocházejí z normálního rozdělení.

Ověření homoskedasticity (shody rozptylů):

H_0 : Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, lze považovat za shodné.

H_A : Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, nelze považovat za shodné.

Zvolený test: Jelikož není splněna normalita, data jsou podrobena Leveneovu testu.

P-hodnota: 0,31

Závěr: Na hladině významnosti 5 % nezamítám nulovou hypotézu. Rozptýly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, lze považovat za shodné.

Po zjištění, že data nepochází z normálního rozdělení, ale splňují podmínku homoskedasticity, je zvolen pro pokračování ve statistické analýze Kruskalův-Wallisův test.

Kruskalův-Wallisův test

H₀: Hodnoty zjištěných objemů nejsou v rámci jednotlivých měření odlišné.

H_A: Hodnoty zjištěných objemů jsou v rámci jednotlivých měření odlišné.

P-hodnota: < 0,001

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu. Hodnoty zjištěných objemů jsou v rámci jednotlivých měření odlišné. Každé měření se tedy chová naprosto odlišně a neexistuje mezi nimi statisticky významná souvislost.

V případě zamítnutí nulové hypotézy je vhodné provést post-hoc analýzu, která nám napoví, které dvojice skupin se statisticky významně liší. Pro tuto analýzu bude použita Neményiova metoda.

Post-hoc analýza: viz. tabulka pro post-hoc (Tab. 23)

Tab. 23: Post-hoc analýza

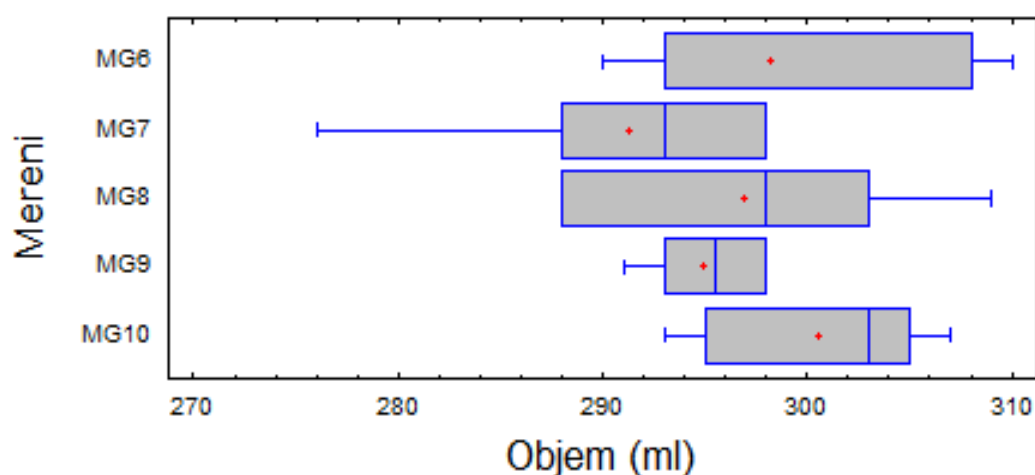
<i>r \ s</i>	1	2	3	4	5
1	-	4,393 (22,8)	0,929 (22,8)	21,464 (22,8)	18,964 (22,8)
2	4,393 (22,8)	-	5,321 (22,8)	25,857 (22,8)	23,357 (22,8)
3	0,929 (22,8)	5,321 (22,8)	-	20,536 (22,8)	18,036 (22,8)
4	21,464 (22,8)	25,857 (22,8)	20,536 (22,8)	-	2,5 (22,8)
5	18,964 (22,8)	23,357 (22,8)	18,036 (22,8)	2,5 (22,8)	-

Statisticky významný rozdíl v průměrech mezi skupinami je na hladině významnosti 5% indikován červeným zbarvením pole znaménkového schématu. V tomto případě můžeme konstatovat, že statisticky významně se mezi sebou liší následující měření z tabulky (Tab. 10): č.2 a č.4, č.2 a č.5.

6.6. Infuzní sety Standardline® při nastaveném průtoku 300 ml/hod

Poslední data pochází z testovaných infuzních setů Standardline při průtoku 300 ml/hod. Zdrojem dat pro toto statistické zpracování je tabulka (Tab. 12). Z krabicového diagramu na grafu (Graf. 18) je možné opět vyčíst rozložení dat v jednotlivých měřeních.

Graf. 18: Krabicový diagram pro sety Standardline® s průtokem 300 ml/hod



Ověření normality:

H_0 : Data pocházejí z normálního rozdělení

H_A : Data nepocházejí z normálního rozdělení

Zvolený test: Shapiro-Wilkův

P-hodnota: viz. tabulka ověření normality (Tab. 24)

Tab. 24: P-hodnota (ověření normality dat)

Měření	p-hodnota (Shapiro-Wilkův)
MG6	< 0,001
MG7	0,029
MG8	0,044
MG9	0,064
MG10	0,009

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu, data tedy nepocházejí z normálního rozdělení.

Ověření homoskedasticity (shody rozptylů):

H_0 : Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, lze považovat za shodné.

H_A : Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, nelze považovat za shodné.

Zvolený test: Jelikož není splněna normalita, data jsou podrobena Leveneovu testu.

P-hodnota: 0,15

Závěr: Na hladině významnosti 5 % nezamítám nulovou hypotézu. Rozptyly populací, z nichž pocházejí analyzované výběry, lze považovat za shodné.

Po zjištění, že data nepochází z normálního rozdělení, ale splňují podmínku homoskedasticity, je zvolen pro pokračování ve statistické analýze Kruskalův-Wallisův test.

Kruskalův-Wallisův test

H₀: Hodnoty zjištěných objemů nejsou v rámci jednotlivých měření odlišné.

H_A: Hodnoty zjištěných objemů jsou v rámci jednotlivých měření odlišné.

P-hodnota: 0,032

Závěr: Na hladině významnosti 5 % zamítám nulovou hypotézu. Hodnoty zjištěných objemů jsou v rámci jednotlivých měření odlišné. Každé měření se tedy chová naprosto odlišně a neexistuje mezi nimi statisticky významná souvislost.

V případě zamítnutí nulové hypotézy je vhodné provést post-hoc analýzu, která nám napoví, které dvojice skupin se statisticky významně liší. Pro tuto analýzu bude použita Neményiova metoda.

Post-hoc analýza: viz. tabulka pro post-hoc (Tab. 25)

Tab. 25: Post-hoc analýza

<i>r \ s</i>	1	2	3	4	5
1	-	13,714 (22,8)	1,107 (22,8)	5,321 (22,8)	10,321 (22,8)
2	13,714 (22,8)	-	12,607 (22,8)	8,393 (22,8)	24,036 (22,8)
3	1,107 (22,8)	12,607 (22,8)	-	4,214 (22,8)	11,429 (22,8)
4	5,321 (22,8)	8,393 (22,8)	4,214 (22,8)	-	15,643 (22,8)
5	10,321	24,036	11,429	15,643	-

Statisticky významný rozdíl v průměrech mezi skupinami je na hladině významnosti 5 % indikován červeným zbarvením pole znaménkového schématu. V tomto případě můžeme konstatovat, že statisticky významně se mezi sebou liší následující měření z tabulky (Tab. 12): č.7 a č.10.

Statistická analýza ukázala, že ani v jedné sadě měření neexistuje statisticky významná souvislost mezi dobou trvání infuze a vzorky objemů odebraných v určitém čase. U všech dat se došlo k závěru, že nepochází z normálního rozdělení, tudíž se nabízel neparametrický Kruskal Wallisův test.

6.7. Vyhodnocení změn infuzních setů pomocí makro snímků

Následkem 14hodinového měření docházelo k mechanickému namáhání části infuzního setu, který byl vložen do těla infuzní pumpy. Následujícími snímky lze potvrdit, že deformace infuzního setu bude trvalá a nebude se během času měnit. Ihned po dokončení měření a otevření dvířek infuzní pumpy je set viditelně zploštělý a mechanicky opotřebený (Obr. 16). Ovšem po jeho vyjmutí a krátkém čase se infuzní set pomalu dostává do původního tvaru, i když hmatatelně jsou na něm ponechány známky mechanického opotřebení lamelovým čerpadlem. To je zapříčiněno výbornou poddajností materiálu, ze kterých jsou infuzní sety vyrobeny. Na pohled jsou tedy infuzní sety po 14hodinovém měření skoro k nerozeznání od nepoužitých nových setů. Doba namáhání ovšem může ovlivnit jejich vnitřní strukturu a může dojít ke změně tvrdosti materiálu. To bude předmětem testů tvrdosti, které budou provedeny na několika vzorcích infuzních setů, které byly použity v měřeních. Tyto testy tvrdosti ovšem budou zahrnuty až do dalšího výzkumu týkajícího se interakce infuzní techniky a infuzních setů.

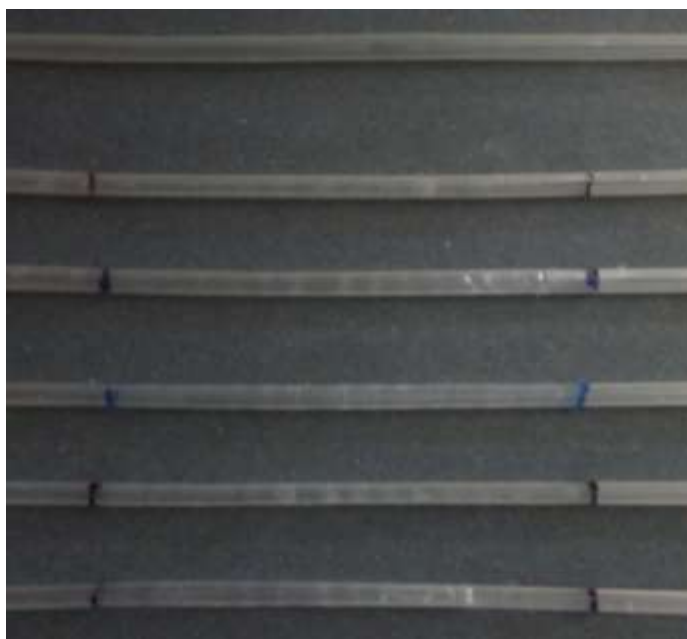


Obr. 16: Infuzní set ihned po otevření dvířek infuzní pumpy

Po dokončení měření na stejné značce infuzních setů a se stejným nastaveným průtokem byly zhotoveny snímky, který zobrazuje všech pět použitých setů plus jeden nový infuzní set k porovnání. V této práci jsou uvedeny pouze dva snímky. Na snímku (

Obr. 17) jsou uvedeny infuzní sety Intrafix®, na nichž byl měřen průtok 50 ml/hod, na snímku (

Obr. 18) jsou poté infuzní sety při měření s průtokem 300 ml/hod rovněž značky Intrafix®.



Obr. 17: Infuzní sety Intrafix® po 14hodinovém měření a použitém průtoku 50 ml/hod

Na tomto snímku jsou jednotlivé infuzní sety seřazeny shora dolů podle čísla měření a to následovně od 14-10. Vrchní čistý infuzní set je zde pro porovnání. Ze snímku jsou patrné na každém infuzním setu známky mechanického namáhání od lamelového čerpadla, které neustále peristalticky pracuje a posouvá tak infuzní médium směrem k pacientovi. V tomto případě směrem do odměrného válce, ve kterém se shromažďuje a následně odečítá nakapaná hodnota.



Obr. 18: Infuzní sety Intrafix® po 14hodinovém měření a použitém průtoku 300 ml/hod

Na obrázku (

Obr. 18) jsou infuzní sety řazeny podle čísla měření shora takto 9, 8, 5, 4, 3. Vrchní infuzní set zde opět také slouží k porovnání. Na pohled je vidět, že infuzní sety, na kterých bylo měřeno s průtokem 300 ml/hod, jsou více mechanicky změněny. Jejich tvar se ani po čase nenavrátil do původního stavu, což je zapříčiněno nejpravděpodobněji častější deformací infuzní části setu lamelami čerpadla. Je vidět, že sety s čísly 9. a 4. jsou na svých krajích více zploštělé, na dolním setu č.3 je pak viditelná jasná deformace infuzního setu, která je zvětšena na následujícím obrázku (Obr. 19).



Obr. 19: Deformovaná část infuzního setu č.3

Jak již bylo zmíněno, předmětem posledního testování infuzních setů bude testování jejich tvrdosti po předchozích měřeních a ověření si původní hypotézy, že při dlouhodobém zatěžování infuzního setu dojde k jeho mechanické degradaci a ztrátě svých původních vlastností.

7. Zhodnocení vlivu interakce volumetrické infuzní pumpy a infuzního setu na kvalitu léčby z hlediska přesnosti a bezpečnosti

Infuzní volumetrická pumpa Argus 400 má ve svých technických parametrech určenou správnost dávkování s přesností $\pm 5 \%$ při použití standardních infuzních setů, což bylo v rámci této diplomové práce dodrženo. V průběhu měření nastaly i případy, ve kterých byla tato výrobcem deklarovaná hodnota překročena. Tato nepřesnost se nevyskytovala pouze v rámci infuzních setů konkrétního výrobce, ale vyskytovala se náhodně při měření s nižším či vyšším nastaveným průtokem i při měřeních se sety všech tří výrobců. Tento fakt poukazuje na možnou neurčitost a nestabilitu materiálu, ze kterých se vyrábí infuzní sety.

Budeme-li srovnávat měření vzhledem k nastaveným hodnotám průtoků, tedy i ke stabilitě dávkování v čase, dopadla lépe měření s průtokem 300 ml/hod, u nichž došlo k překročení 5 % hranice pouze ve dvou případech z patnácti celkových. Jednalo se o měření č.8 s infuzními sety Intrafix® a měření č.7 s infuzními sety Standardline®. U měření s průtokem 50 ml/hod došlo k překročení hned v devíti z patnácti případů. Jednalo se konkrétně o měření s infuzními sety Intrafix® č.12, 13 a 14, dále pak měření č.6, 7, 8 a 9 s infuzními sety Infudrop® a poslední dvě měření č.1 a č.2 s infuzními sety Standardline®. Při těchto experimentálních měřeních měla v ideálním případě infuzní pumpa dávkovat konstantní objem, jaký byl na začátku měření nastaven. Jak výsledky ukazují, ani v jednom případě nedošlo ke konstantnímu dodání infuze během celého měření.

Srovnání infuzních setů vzhledem k přesnosti dávkování a jejich výrobci je také možno provést. V tomto porovnání dopadly nejlépe sety Standardline®, a to při měření s průtokem 50 ml/hod, i při průtoku 300 ml/hod. Tyto infuzní sety překročily zmiňovanou pětiprocentní deklarovanou hodnotu pouze ve třech měřeních, dvakrát při měření s průtokem 50 ml/hod, jednou při měření s vyšším průtokem. Navíc překročení této hranice se týkalo ve dvou případech pouze jednoho odebraného vzorku ze čtrnácti vzorků (hodin). Zbývající dva typy infuzních setů dopadly v tomto srovnání víceméně stejně, když u setu Intrafix® a Infudrop® došlo k překročení hranice nepřesnosti 5% shodně ve čtyřech případech. Rozdíl byl pouze v poměru, co se týče nepřesnosti dávkování a rychlosti nastaveného průtoku. Infuzní sety Infudrop® dopadly lépe při měření s vyšším nastaveným průtokem, naopak hůře při měření s nižším průtokem. Počty vzorků, které se při těchto měřeních pohybovaly nad hranicí nepřesnosti dávkování, byly mnohonásobně vyšší než u setů Standardline®, vyskytovaly se v několika po sobě jdoucích hodinách (vzorcích).

Další možnost srovnání mezi typy infuzních setů, ideálním průtokem, jaký by měl být měřen a zprůměrováním jednotlivých sad měření. Při nastaveném průtoku 50 ml/hod mělo být v ideálním případě v každém odebraném vzorku naměřeno množství 50 ml. Vezmeme-li v potaz průměr za celé 14 hodinové měření, ideálně bychom měli také naměřit každý vzorek o shodném 50 ml objemu. V tomto srovnání dopadly infuzní sety Standardline® opět nejlépe. Při zprůměrování pěti měření, které byly při průtoku 50 ml/hod provedeny, vyšel výsledný

průměr na hodnotu 50,471 ml/odebraný vzorek. Druhé v pořadí skončily sety Intrafix® s průměrem 50,857 ml/odebraný vzorek. Nejhuře dopadly sety Infudrop® s průměrem 51,9 ml/odebraný vzorek.

Stejně je to i pro nastavený průtok 300 ml/hod, kde by měly ideálně po celou dobu měření odebrané vzorky odpovídat množství 300 ml. Při tomto porovnání dopadly nejlépe sety Infudrop® (průměr 301,371 ml/odebraný vzorek), dále sety Standardline® (296,386 ml/odebraný vzorek) a poslední sety Intrafix® s průměrným množstvím 294,243 ml/odebraný vzorek.

Výsledky dopadly nepříznivě dokonce i pro infuzní sety, které byly vyrobeny ve stejné šarži. Jednalo se o sety Standardline®, při měření s nastaveným průtokem 300 ml/hod. Rozdíl v rámci jedné šarže může být způsoben výrobou hadiček infuzních setů. Při výrobě těchto plastových komponentů dochází k mísení chemikálií a různých přísad ve velkých nádobách při zahřátí celkového objemu nádoby. Toto zahřátí a mísení však nemusí být ve všech místech nádoby konstantní a navíc je i těžce měřitelné. V různých částech může tedy dojít například k nestejným poměrům látek smíchané směsi chemikálií, nestejně teplotě, atd.. Obsluha těchto zařízení může mít také určitý podíl na celkovém procesu výroby těchto plastových komponentů.

Vliv interakce volumetrické infuzní pumpy a infuzního setu na kvalitu léčby z hlediska přesnosti a bezpečnosti nepředstavují překročené hodnoty nepřesnosti dávkování problém, pokud bude pacientům podáván fyziologický roztok, tekutiny nebo výživné látky. Problém může nastat v případě, kdy budou pomocí infuzní pumpy pacientům podávány léčiva s vysokou koncentrací v roztoku. Zde může i malá odchylka napáchat hodně škody na pacientově zdraví. Proto je nutné, aby obsluhující personál pravidelně kontroloval stav pacientů i během infuzní terapie, pro případ, že by došlo k problémům, které by alarmy infuzních pump nemusely zaznamenat.

8. Závěr

Tato diplomová práce byla vytvořena za účelem zjištění, zda má interakce infuzního setu a volumetrické infuzní pumpy vliv na kvalitu dávkování v čase a na kvalitu léčby. Podnět pro tuto práci vzešel z toho, že infuzní technika je v dnešní době nedílnou součástí zdravotnických zařízení a její použití je v každodenní praxi zcela běžné. Jejím účelem je dávkování látek v tekutém stavu pomocí přetlaku do těl pacientů. S rostoucím počtem různých infuzních přístrojů a s nimi spojeným infuzním materiálem na odděleních nemocničních zařízení tudíž nastává možný problém přesnosti dávkování. Ta hraje v infuzní technice velmi významnou roli, neboť je určena mimo jiné i k podávání vysoce koncentrovaných léčiv, u kterých je přesnost dávkování nezbytná pro zdravotní stav pacientů.

V současnosti je již infuzní technika na vysoce špičkové úrovni co se týče hardwarového a softwarového vybavení. Obsahuje nejmodernější technologie a materiály, které mají za úkol eliminovat a minimalizovat co nejvíce případných chyb. Potencionální nebezpečí pro pacienta vzhledem k přesnosti dávkování však nepředstavují ve většině případů infuzní pumpy, ale infuzní spotřební materiál, tedy infuzní sety, které vedou přímo do těla infuzní medium. Tyto plastové hadičky jsou vyráběny z velkého množství chemikálií a jejich vlastnosti se mohou lišit díky složitému výrobnímu procesu nebo se jejich vlastnosti mohou změnit vlivem několikahodinového namáhání v čerpacím segmentu infuzní pumpy při infuzní terapii. Toto byl také úkol této diplomové práce.

Prvním bodem práce bylo analyzovat infuzní volumetrickou techniku lamelového typu a s ní související spotřební materiál. Dále pak stanovení možného vlivu fyzikálních parametrů infuzního setu a jeho konstrukce, sestavení měřicího řetězce. Ten simuloval průběh infuzní terapie pro následné experimentální měření, které mělo za cíl určení vlivu volumetrické infuzní pumpy na fyzikální parametry infuzního setu z hlediska jejich časové stability a vlivu na neurčitost dávkování. Po provedení třiceti čtrnáctihodinových měření s nastavenými průtoky a vyhodnocení těchto dat pomocí statistické analýzy bylo zjištěno, že hodnoty zjištěných objemů jsou v rámci jednotlivých měření odlišné. Každé měření se tedy chovalo naprosto odlišně a neexistovala mezi nimi statisticky významná souvislost. Tato odlišnost v dávkování byla s největší pravděpodobností způsobena mnohahodinovým mechanickým namáháním infuzního setu v čerpacím segmentu infuzní pumpy. V rámci vyhodnocení experimentálních dat bylo posouzeno i mechanické opotřebení infuzních setů vizuální kontrolou pomocí makro snímků. Toto vyhodnocení přineslo další důkaz, že infuzní sety byly prokazatelně opotřebeny po dokončení infuzní terapie (experimentálního měření). Posledním bodem této práce bylo zhodnocení výsledků experimentálních měření a jeho vlivu na kvalitu léčby z hlediska přesnosti a bezpečnosti.

Další věcí, která objasní hypotézu, že s dlouhodobým mechanickým namáháním infuzního setu se mění jeho vnitřní struktura, potažmo jeho fyzikální vlastnosti, bude test tvrdosti materiálu infuzních setů, které byly vystaveny namáhání během experimentálních měření. Tato materiálová analýza bude předmětem dalšího výzkumu v oblasti infuzní techniky.

9. Seznam literatury

- [1] PODLUCKÝ, Jan. *Infuzní pumpa*. Brno, 2005. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Pavel Ždímal, CSc
- [2] <http://braunoviny.bb Braun.cz/clanky/infuzni-technika-slavi-60.-vyroci/>. [online]. [cit. 2013-10-20].
- [3] <http://www.hit.bb Braunusa.com/default.aspx?pageid=927>. [online]. [cit. 2013-10-20].
- [4] PHILLIPS, Lynn Dianne. *Manual of I.V. therapeutics: evidence-based infusion therapy*. 5th ed. Philadelphia: F.A. Davis Co, 2010. ISBN 08-036-2184-1.
- [5] HANOUSKOVÁ, Jitka. Pooperační infuzní terapie. *Urologie pro praxi: Pooperační infuzní terapie* [online]. Konice: Solen, 2007, roč. 8, č. 4, s. 184-185 [cit. 2013-10-20].
- [6] DVOŘÁKOVÁ, Kateřina. *Prevence kontaminace během infuzní terapie*. 2011. 119 l. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce PhDr. Andrea Pokorná, Ph.D.
- [7] ČIHÁK, Josef. AUGUSTYNEK, Martin. *Infuzní technika a hemodialyzační technika a technologie*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3100-8
- [8] <http://www.zelenahvezda.cz/zdravotnicke-potreby/perfusor-r-space>. [online]. [cit. 2013-10-21].
- [9] PESLAR, Jiří. *Konstrukce peristaltického čerpadla*. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. David Paloušek, Ph.D.
- [10] <http://www.ekotechnika.cz/peristalticka-cerpadla>. [online]. [cit. 2013-10-21].
- [11] <http://mve.energetika.cz/jineturbiny/peristalticke-cerpadlo.htm>. [online]. [cit. 2013-10-21].
- [12] Experimentální úlohy v prostředí simulovaného pracoviště JIP. http://esf.fbmi.cvut.cz/sites/default/files/Experimentalni_ulohy_v_prostredi_simulovaneho_pracoviste_JIP_komplet.pdf [online]. [cit. 2013-10-21].
- [13] PAVELKOVÁ, Alena. *Infuzní technika ve zdravotnictví (řešeršní práce)*. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Mgr. Petr Tiefenbach.

- [14] <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schlauchpumpe-lineare-Verdraengung.png>. [online]. [cit. 2013-10-21].
- [15] http://www.terumo-europe.com/hospital/_pdf/midpress_leaflet.pdf. [online]. [cit. 2013-10-21].
- [16] <http://www.forlongmedical.com/syringe-infusion-pump/115-infusion-pump-forlong-200b.html>. [online]. [cit. 2013-10-22].
- [17] http://www.terumo-europe.com/hospital/_pdf/midpress_leaflet.pdf. [online]. [cit. 2013-10-22].
- [18] MÍSAŘ, Petr. [online]. [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: <http://braunoviny.bbraun.cz/clanky/novinky-v-bezpecne-infuzni-terapii/>
- [19] ROZMAN, Jiří. *Elektronické přístroje v lékařství*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2006. ISBN 80-200-1308-3.
- [20] ČSE EN ISO 8536-8. *Infuzní přístroje pro zdravotnické použití - Část 8: Infuzní přístroje pro použití s tlakovým infuzním zařízením*. 2005.
- [21] ČSN EN 60601-2-24: *Zdravotnické elektrické přístroje - Část 2: Zvláštní požadavky na bezpečnost infuzních pump a regulátorů*